UNIV. OF CALIFORNIA

AUGUSTO RIGHI

LA MATERIA RADIANTE

E

I RAGGI MAGNETICI

Con 57 figure nel testo
e 22 riproduzioni di fotografie fuori testo

SECONDA EDIZIONE AUMENTATA

BOLOGNA
NICOLA ZANICHELLI
1910
PRINTED IN ITALY

Digitized by Google

PROPRIETÀ LETTERARIA

Comm. M. J. Fontana
Library

Digitized by Google

PREFAZIONE

Questo volume merita forse più d'ogni altro di far parte della collezione di *Attualità Scientifiche*, se a questi vocaboli va attribuito il loro significato letterale.

Mentre infatti gli altri volumi della collezione avevano per obbiettivo il far conoscere al maggior numero possibile di persone colte, cose di fatto o teorie, bensì recenti, ma pur tuttavia pienamente note ai cultori della scienza e dai più di essi accettate, questo, che raccoglie il contenuto di alcune Memorie pubblicate da pochi mesi in Atti accademici (*), è dedicato alla descrizione di fenomeni poco noti e forse non ancora rettamente interpretati, e di fenomeni interamente nuovi, nonchè ad esporre l'abbozzo

(*) *Rendiconti della R. Accademia dei Lincèi*, 2 febbraio 1908. — *Bullétin des Séances de la Soc. Franc. de Physique*, année 1908, pag. 47. — *Memorie della R. Accademia delle Scienze di Bologna*, 17 maggio 1908. — *Atti del II Congresso della Associazione Italiana pel progresso delle Scienze.* — *Rendiconti della R. Accademia dei Lincèi*, 20 dicembre 1908. — *Memorie della R. Accademia delle Scienze di Bologna*, 17 gennaio 1909.

54 3854 Digitized by Google

di un concetto teorico capace di fornirne una spiegazione complessiva soddisfacente.

Questo libro susciterà forse qualche critica; cosa questa altamente desiderabile, in quanto che la discussione delle ipotesi scientifiche vale ad affinarle e completarle. Sarò dunque lietissimo se mi verranno fatte obiezioni, di cui terrò conto con animo grato in una eventuale nuova edizione, alla mia ipotesi dei *Raggi magnetici*, la quale, per l'indole sua e la complicazione dei fatti che è chiamata a spiegare, non presentava possibilità alcuna d'un controllo sperimentale quantitativo.

Affinchè risultasse chiaramente assegnato il posto, che compete ai nuovi raggi nel quadro generale delle radiazioni di particelle materiali, (considerando come tali, secondo lo spirito della teoria elettrica della materia anche gli elettroni), ho creduto necessario scrivere la Parte Prima, la quale non offrirà nulla di difficile e poco di nuovo, a chi abbia preso cognizione di qualcuna delle precedenti *Attualità*, e segnatamente della *Moderna teoria dei fenomeni fisici*.

Infine, per quei Lettori le cui cognizioni matematiche superino qualche poco quelle elementari, ho aggiunto delle *Appendici*, aventi lo scopo di chiarire o dimostrare alcune asserzioni di speciale importanza contenute nel testo.

A. Righi

Digitized by Google

LA MATERIA RADIANTE

E

I RAGGI MAGNETICI

Digitized by Google

Digitized by Google

UNIV. OF CALIFORNIA

PARTE PRIMA

LA MATERIA RADIANTE

Digitized by Google

Digitized by Google

UNIV. OF CALIFORNIA

CAPITOLO I.

INTRODUZIONE

1. - Molecole, atomi, ioni, elettroni.

L'ipotesi della struttura atomica della materia, frutto d'una felice intuizione degli antichi filosofi greci, che da Anassagora ad Epicuro la professarono, è stata di più in più resa necessaria dai risultati successivamente raggiunti col moderno metodo sperimentale. Anzi alcuni fatti, di cui la fisica e sopratutto la chimica ci hanno fornito sicura cognizione, inducono a pensare all'esistenza di più stadii successivi di aggregazione degli atomi, e cioè che questi costituiscano dapprima certi aggregati chiamati *molecole*, e che le aggregazioni fra molecole costituiscano i corpi tutti. La struttura cristallina di molti corpi solidi conduce poi a ritenere, che fra corpo e molecole esista un altro stadio intermedio, quello degli *elementi cristallini*, aggregati di molecole aventi determinate forme poliedriche,

Digitized by Google

UNIV. OF CALIFORNIA

che riuniti poi con concorde orientazione costituiscono i cristalli.

Lo studio dei fenomeni elettrici e delle relazioni esistenti fra essi ed i fenomeni chimici, ha condotto negli ultimi cento anni a cognizioni nuove ed importantissime. Il fenomeno dell'elettrolisi, e cioè la scomposizione chimica subìta dalle soluzioni saline allorchè trasmettono la corrente elettrica, ha infatti suggerita una ipotesi, che ha ormai acquistato un elevatissimo grado di verosimiglianza e di attendibilità, e che getta una luce vivissima su un vasto campo di fenomeni. Secondo questa ipotesi gli atomi eterogenei costituenti una molecola composta sarebbero elettrizzati, gli uni positivamente gli altri negativamente, e la forza d'*affinità*, che fra essi si esercita ed in virtù della quale essi costituiscono la molecola, altro non sarebbe che l'attrazione elettrica fra atomi oppostamente elettrizzati. Tutto infatti porta a credere che, in causa degli urti reciproci fra le molecole d'un *elettrolito*, ossia d'un liquido conduttore non metallico, accada continuamente la scissione di qualcuna di esse in due parti oppostamente elettrizzate, ciascuna delle quali si muove poi indipendentemente fra le molecole complete, sinchè

Digitized by Google

non avvenga un incontro con una parte di molecola di carica inversa, in favorevoli condizioni per ricostruire una molecola intera. Allorchè l'elettrolito, per mezzo di due lamine metalliche o *elettrodi* in esso immersi, è incluso in un circuito elettrico, gli atomi o gruppi d'atomi elettrizzati nel loro complesso positivamente, anzichè spostarsi fra un urto e l'altro senza preferenza di direzione, vanno avvicinandosi necessariamente all'elettrodo negativo o *catodo*, ossia si muovono prevalentemente in quella direzione, che arbitrariamente si è assunto come direzione della corrente, mentre le porzioni negative delle molecole scisse si spostano in direzione contraria, ossia verso l'elettrodo positivo o *anodo*. Sugli elettrodi compaiono dunque separate le parti che componevano le molecole scisse nell'elettrolito, e la propagazione della corrente elettrica entro il liquido consiste semplicemente in quel doppio trasporto di cariche. Queste ultime sono cedute agli elettrodi, e così, penetrate nella parte metallica del circuito, assicurano la continuità della corrente.

Benchè, in conseguenza di questo processo, siano continuamente sottratti al liquido alcuni dei

Digitized by Google

gruppi atomici elettrizzati provenienti dalla scissione delle sue molecole, la conducibilità dell'elettrolito resta sensibilmente invariata. Ciò proviene dal fatto, che continuamente nuove molecole vengono scisse in due parti negli urti reciproci fra di esse. La frequenza di questi urti è incomparabilmente maggiore in un liquido che in un gas, ciò che permette di comprendere come in condizioni analoghe la conducibilità di un gas risulti invece quasi distrutta (veggasi § 5).

Ai due atomi o gruppi atomici oppostamente elettrizzati, dall'unione dei quali risulta la molecola dell'elettrolito, si è conservato il nome di *ioni* usato dal grande Faraday, che scoprì le leggi dell'elettrolisi.

Da queste leggi risulta dimostrato, che per un certo numero di corpi, come l'idrogeno, il cloro ecc. che diconsi monovalenti, tutti i ioni posseggono una eguale carica elettrica, positiva per gli uni (p. es. idrogeno), negativa per gli altri (p. es. cloro); e che ogni ione di altri corpi, detti bivalenti, trivalenti ecc. è dotato d'una carica doppia, tripla ecc. di quella d'un ione mono-valente.

Ad onta di svariati tentativi ripetutamente fatti, specialmente dopo che si dovettero abbandonare

Digitized by Google

le ipotesi dei fluidi luminoso e calorifico per adottare invece la teoria ondulatoria, non è stato possibile formulare qualche analoga ipotesi ondulatoria per render conto dei fenomeni elettrici (e quindi dei magnetici), e si è dovuto attenersi al concetto, che tali fenomeni si debbano ad una speciale sostanza, chiamata *fluido elettrico* o *elettricità*, la cui essenza ci è sconosciuta quanto quella della materia propriamente detta. La carica posseduta dai ioni monovalenti sarà dunque per noi una quantità piccolissima ma costante di elettricità, a designare la quale si è ormai generalmente adottato il vocabolo *elettrone*. Inoltre si è condotti ad ammettere, che gli elettroni siano entità indivisibili, specie di atomi di elettricità, od almeno ad attribuire questo carattere agli elettroni negativi. A tale conclusione hanno irresistibilmente condotto certi fenomeni scoperti negli ultimi anni, e particolarmente il così detto *fenomeno di Zeeman*, e quelli presentati dai *raggi catodici*. Avremo più avanti l'occasione di occuparci di questi raggi; ed in quanto al primo fenomeno basterà rammentare, come esso conduca ad asserire, che le vibrazioni luminose altro non possano essere che vibrazioni di cariche negative libere, anzi pre-

Digitized by Google

cisamente degli elettroni negativi, e che le onde di luce o di calore non siano altro che onde elettromagnetiche propagantesi nell'etere.

Si potrebbe dire quindi, che ogni ione monovalente positivo o negativo è un atomo congiunto ad un elettrone positivo o ad uno negativo; che un ione bivalente è un atomo congiunto a due elettroni e così di seguito. Siccome poi, come meglio si spiegherà più oltre, si hanno prove in favore dell'esistenza indipendente degli elettroni negativi, mentre mancano ancora analoghe prove sicure rispetto agli elettroni positivi, così si è pensato, che ogni atomo neutro contenga un certo numero di elettroni negativi, e che l'atomo stesso si trasformi in ione positivo o in ione negativo, perdendo o aggregando in più un elettrone (o più, se si tratta di ioni polivalenti).

In conseguenza si potrà dire che, quando i ioni positivi si rendono liberi sull'elettrodo negativo o *catodo*, essi prendono a questo gli elettroni negativi necessari a trasformarli in atomi, e che quelli negativi cedono all'elettrodo positivo o *anodo* gli elettroni negativi in soprannumero, onde divenire atomi ordinari.

La corrente elettrica nel conduttore solido che congiunge i due elettrodi alla sorgente sarà per

Digitized by Google

conseguenza costituita dal rapido moto di elettroni negativi.

Il motivo principale, che rese restii ad ammettere l'ipotesi, secondo la quale si considera la elettricità come una sostanza speciale, fu forse quello della azione a distanza apparentemente esistente fra corpi elettrizzati. A molti parve sempre assurdo il ritenere, che un corpo o una sostanza qualunque possa esercitare qualche azione a distanza, tanto che lo stesso Newton, nel formulare la sua celebre teoria dell' attrazione universale, si limitò ad asserire che i corpi agiscono *come se* si attraessero reciprocamente.

Oggi la difficoltà è stata rimossa, dopo che, per opera specialmente del Maxwell, si è meglio compresa la parte che prendono nei fenomeni elettrici i corpi non conduttori, ossia i *dielettrici*. Oggi generalmente si ritiene, che le forze elettriche abbiano la loro sede nell' etere, e altro non siano che la manifestazione di forze elastiche sorte nel seno di esso in seguito a speciali deformazioni.

Nell'assoluta ignoranza in cui siamo della struttura e delle proprietà dell' etere, non è possibile specificare maggiormente questo concetto. In ogni modo però si vede, che tutti i fenomeni del mondo

Digitized by Google

fisico si possono ricondurre a manifestazioni di tre entità fondamentali: materia, elettroni, etere, la conoscenza intima delle quali sorpassa forse le possibilità dell' intelletto umano.

2. - Moti molecolari, atomici, ecc.

Le particelle costituenti i vari corpi sono animate da rapidi movimenti, l' energia dei quali cresce insieme alla temperatura. In tutti quei casi in cui, in seguito ad urto o ad attriti fra diversi corpi, sembra distruggersi in tutto o in parte la energia del loro movimento, questa non fa che trasformarsi, poichè si osserva in pari tempo un aumento dell' energia molecolare ed atomica, e cioè comparisce o si crea una certa quantità di calore. I fatti di questo genere pienamente accertati sono così numerosi, ed il rapporto fra l' energia meccanica scomparsa o generata ed il calore generato o scomparso si mostra d' un valore così costante, che non può muoversi nessuna obbiezione alla teoria dinamica del calore, e non è lecito minimamente dubitare dell' esistenza dei moti invisibili posseduti dalle particelle costitutive dei corpi.

Digitized by Google

La natura di tali movimenti è in buona parte conosciuta. Infatti la permanenza delle proprietà fisiche dei solidi in ogni loro singola porzione richiede, che ciascuna delle loro molecole rimanga sempre ad una piccolissima distanza da una posizione media determinata, cosicchè nei solidi i moti molecolari non possono essere che rotazioni o vibrazioni. La diffusibilità dei fluidi, e cioè dei liquidi e dei gas, obbliga ad ammettere, che una molecola determinata di tali corpi possa trasportarsi ovunque, e possegga quindi un moto traslatorio. Ne consegue che essa potrà trovarsi di frequente a distanza piccolissima da un'altra qualunque, e risentire così l' effetto delle forze molecolari, le quali mostrano il carattere specifico di essere considerevoli solo quando le distanze fra le molecole siano piccolissime. Mentre dunque una molecola si muoverà uniformemente in linea retta, fintanto che è relativamente lontana da altre molecole, la direzione del suo moto e la sua velocità varieranno in generale quando si avvicini ad un' altra, e per conseguenza la via da essa percorsa sarà formata da tratti rettilinei aventi direzioni svariate e collegati da tratti curvilinei. Questi ultimi saranno

Digitized by Google

brevissimi in confronto ai primi, se le molecole sono assai rade, come nel caso di un gas, ed in tal caso la linea percorsa potrà approssimativamente considerarsi come una linea spezzata, formata cioè da tratti rettilinei consecutivi. L'effetto prodotto dalla momentanea vicinanza di una seconda molecola, a quella di cui si considera il movimento, potrà allora assomigliarsi a quello di un urto o collisione, ed è anzi con questi vocaboli che si suol designare ciò che allora accade.

È col moto traslatorio delle molecole dei gas che si rende conto della pressione da essi esercitata, della tendenza loro ad espandersi e di tutte le altre loro proprietà fisiche, siano essi nelle ordinarie condizioni o siano molto rarefatti, come non di rado accade in molti apparecchi di ricerca. Alle grandi rarefazioni si manifestano bensì fenomeni nuovi, ma essi sono in pieno accordo con quanto può lasciar prevedere o può spiegare la teoria or ora accennata. Il grazioso e conosciutissimo strumento, noto col nome di radiometro, inventato dal Crookes, porge di ciò un esempio, e anzi di esso si può dire, che mostra agli occhi un effetto diretto dei moti, di cui le molecole gassose sono animate.

Digitized by Google

In casi specialissimi possono delle particelle materiali assumere dei moti traslatori concordi, cioè di direzioni parallele fra loro, oppure divergenti da un unico punto, e ben presto ne vedremo alcuni esempi, nei quali le particelle stesse sono ioni o semplici elettroni.

Tali particelle in moto concorde realizzano ciò, che non fu un tempo che l'ipotesi dell'emissione, esposta da Gassend (o Gassendi) per render conto dei fenomeni luminosi, e più tardi perfezionata da Newton, coll'ammettere che i corpi luminosi emettano certe particelle minutissime di un fluido speciale (fluido luminoso) anzichè veri atomi. È specialmente sotto l'azione di forze elettriche intense che si producono le radiazioni di ioni o di elettroni. Di esse ci occuperemo a lungo, perchè formano appunto l'oggetto principale di questo libro.

Potrà osservarsi giustamente, che le radiazioni di elettroni non dovrebbero essere considerate insieme alle radiazioni di particelle materiali, come sono i ioni, e che quindi non sarebbero da considerarsi come esempi di materia radiante. Ma questa obbiezione cade, se si ammette il moderno concetto della natura elettrica della materia, del quale quindi è necessario dar qui un breve cenno.

Digitized by Google

3. - Teoria elettrica della materia.

Fra elettroni immobili agisce la forza elettrica, che si considera dovuta, come si disse, ad una speciale reazione elastica dell'etere. Un elettrone in moto rettilineo ed uniforme oltre alla forza elettrica, la cui intensità dipende ora anche dalla velocità che lo anima, genera nello spazio una forza magnetica, la cui direzione è in pari tempo perpendicolare alla direzione del moto dell'elettrone e a quello della forza elettrica. È noto poi, che le linee di forza magnetiche, ossia quelle linee le cui tangenti danno la direzione della forza esistente nel rispettivo punto di tangenza, sono, nel caso qui considerato, circonferenze aventi per asse la traiettoria dell'elettrone, e che il campo magnetico così generato si trasporta invariato insieme ad esso nello spazio.

Se il moto dell'elettrone non è rettilineo ed uniforme il campo magnetico da esso generato è variabile, e dalle leggi conosciute dei fenomeni elettromagnetici si ricava, che ciò è causa di variazione della velocità dell'elettrone. Anzi questo reci-

Digitized by Google

proco legame è di tal genere, che ogni variazione di velocità dell'elettrone ha per conseguenza il crearsi di una forza, che tende ad opporsi alla variazione stessa. Ne consegue che, per mettere in moto un elettrone o per accelerarne il movimento, occorre fornirgli una certa quantità d' energia, precisamente come se si trattasse d'una massa materiale, cioè dotata di quella proprietà caratteristica della materia, che è l' *inerzia*. Similmente non si può arrestare un elettrone in moto o diminuirne la velocità, senza sottrarre ad esso dell' energia, precisamente come all' arresto di una massa materiale in moto corrisponde inevitabilmente una sottrazione di energia dalla medesima. Si può dunque dire in breve che, in virtù delle leggi elettromagnetiche conosciute, un elettrone si comporta sempre come se fosse dotato di inerzia o collegato ad una massa materiale di determinata grandezza, che si suol chiamare *massa apparente* o *massa elettromagnetica*.

È dunque lecito ammettere, che gli atomi materiali siano semplicemente aggregati d'elettroni, e quindi che la massa dei corpi tutti sia una massa elettromagnetica.

Questa ipotesi, cui nulla si oppone e che anzi

Digitized by Google

si presta alla più semplice comprensione dei fenomeni, ha il pregio di ricondurre la costituzione del mondo fisico a due sole entità fondamentali: elettroni ed etere.

Gli atomi ed i ioni altro non sarebbero adunque che sistemi di elettroni delle due specie; e precisamente atomi, se gli elettroni positivi e negativi sono in numero eguale, e ioni nel caso contrario.

Questo modo di considerare la struttura della materia, che acquista continuamente maggior favore fra i fisici, non è, pel momento almeno, ben determinato e definito, in quanto che lascia arbitrari il numero degli elettroni e la natura dei loro movimenti. Inoltre, poichè finora non si acquistò la certezza che, come gli elettroni negativi, anche i positivi possano mostrarsi separati dalla materia propriamente detta, molti propendono a negare l'esistenza di questi ultimi, od almeno la loro singola individualità, e concepiscono l'atomo come costituito da un'unica sfera di elettricità positiva, o di grande elettrone positivo, entro cui ed intorno al cui centro si aggirano degli elettroni negativi. Tanto nell'uno come nell'altro schema non si può a meno di ammettere però, che un atomo contenga

Digitized by Google

elettroni negativi dotati di rapidi movimenti periodici più o meno simili a quelli dei pianeti d'un sistema solare.

Fra due atomi così costituiti agiscono dunque forze elettriche e forze magnetiche, e, a seconda della reciproca posizione di essi, la risultante potrà essere tale da tendere ad avvicinarli o ad allontanarli; ma in generale avrà una intensità decrescente al crescere della distanza fra i due atomi. Altrettanto può dirsi per le forze reciproche fra molecole.

Ma se si tratta di due ioni, la forza che agisce su ognuno di essi, tende a divenire costantemente un'attrazione o una ripulsione, al crescere della loro distanza. Infatti, quando questa è grande relativamente alle dimensioni degli atomi, ciascuno dei due ioni agisce sull'altro come una carica elettrica puntiforme. Altrettanto può dirsi dell'azione fra un ione ed un elettrone. Quando siano di contrario segno, la forza reciproca è un'attrazione, e sotto determinate condizioni di grandezza e direzione delle loro velocità ad un istante preso come iniziale, essi potranno costituire un sistema, analogo a quello che fra i corpi celesti è una stella doppia. È dei sistemi di questo genere che ci occuperemo a lungo, e special-

Digitized by Google

mente nella seconda parte di questo libro. Naturalmente si supporrà che l'elettrone, nel suo moto relativo intorno al ione, non si accosti mai tanto a questo, che non sia più lecito considerarlo come un'unica carica elettrica, o in altri termini ammetteremo, che l'elettrone percorra intorno al ione (che ne occupa uno dei fuochi) una elisse di non troppo grande eccentricità, o se vogliamo, una elisse che non troppo diversifichi da una circonferenza di circolo.

4. - Radioattività.

Esistono corpi dotati della proprietà di emettere continuamente certe radiazioni, capaci di produrre svariatissimi effetti. La scoperta di tale proprietà, dovuta al Becquerel, è giunta in buon punto a dare appoggio e maggior fondamento alla ipotesi esposta nel precedente paragrafo. Si sa oggi con un altissimo grado di certezza, specialmente in grazia delle estese ed accurate ricerche del Rutherford e di quelle d'altri fisici, che, se non tutti, certi corpi almeno, e cioè quelli chiamati *radioattivi*, sono costituiti da atomi, i quali l'un dopo l'altro si disaggregano e

Digitized by Google

si trasformano. In generale, ma non sempre, questi corpi rivelano direttamente tale loro condizione coll'emissione incessante di elettroni negativi (raggi β) o di ioni positivi (raggi α), e spesso degli uni e degli altri nel medesimo tempo, lanciati in ogni senso con enormi velocità. A questi raggi si aggiunge poi spesso una radiazione d'altro genere, e cioè i raggi γ, i quali sembrano di natura identica a quella dei raggi di Röntgen, e precisamente generati dai raggi β nel modo stesso in cui i raggi X sono generati dai raggi catodici.

Le sostanze nuove, nelle quali si trasformano in modo continuo e con costante percentualità i corpi radioattivi, sono spesso esse pure costituite da atomi instabili, e cioè alla loro volta subiscono ulteriori trasformazioni.

Tali trasformazioni sono accompagnate da uno sviluppo di calore, assai considerevole nel caso del *radio*, e cioè da una emissione d'energia in più di quella inerente al moto degli elettroni e dei ioni emessi. Naturalmente si tratta di trasformazione e non di creazione d'energia, e verosimilmente il calore continuamente prodotto si deve, almeno in gran parte, all'urto delle particelle emesse contro gli

Digitized by Google

atomi del corpo radioattivo stesso o quelli del mezzo ambiente.

È oltremodo verosimile, che gli atomi di molte delle nuove sostanze, che si producono in seguito alla trasformazione degli atomi instabili, esistano in questi già formati. Ciò porterà ad imaginare una speciale struttura di atomi secondari facenti parte degli atomi primitivi, e quindi nuovi stadî d'aggregazione intermedi fra gli atomi dei corpi radioattivi ed i semplici elettroni. E poichè le particelle costituenti i raggi α non sono altro, a quanto risulta dalle esperienze di Rutherford, che ioni positivi bivalenti di elio, si è indotti a supporre, che atomi di questo gas entrino nella costituzione degli atomi di tutte quelle sostanze radioattive che emettono raggi α.

Non deve sorprendere l'instabilità degli atomi dei corpi radioattivi, anzi dovrebbe meravigliare l'esistenza d'atomi assolutamente stabili, perchè vi sono ragioni che inducono a supporre, che la disaggregazione atomica continua e più o meno lenta a seconda dei corpi, sia una proprietà affatto generale. Infatti, poichè il moto degli elettroni costituenti un atomo non è rettilineo ed uniforme, una certa quantità dell'energia di essi è continuamente

Digitized by Google

irradiata nell' etere e perciò sottratta al sistema. Questo andrà dunque gradatamente modificandosi, sinchè non avvenga un cambiamento più o meno brusco di struttura ed un nuovo assettamento, la cui durata potrà essere più o meno lunga, ma probabilmente sempre limitata.

Poichè la radioattività dimostra la trasformabilità di specie atomiche in altre differenti, essa mette fuori di dubbio la divisibilità dell'atomo, ed offre così una notevole conferma della teoria elettrica della materia, più sopra richiamata.

5. - Ionizzazione.

Secondo le nuove vedute la corrente elettrica in un conduttore solido non è che una corrente di elettroni, mentre che in un liquido essa è costituita dal moto dei ioni nei due sensi. Pochi per l'addietro ammisero, ma tutti oggi ammettono, che anche nei gas la propagazione della corrente consista in un moto di ioni.

Nelle condizioni ordinarie un gas possiede un grado di conducibilità minimo per la corrente elet-

Digitized by Google

trica. È dunque a ritenersi, che esso sia costituito quasi unicamente di molecole e di atomi neutri, e contenga solo un numero esiguo di ioni, ossia di particelle materiali elettrizzate.

Ma vi sono circostanze, nelle quali si formano nel gas dei ioni delle due specie in grande numero, e spesso anche elettroni negativi liberi. Quando ciò sia accaduto, il gas dicesi *ionizzato*. In causa della conducibilità elettrica più o meno grande che allora esso possiede, posto che sia fra due elettrodi comunicanti coi poli di una sorgente elettrica, esso dà passaggio alla corrente come se fosse un elettrolito, e cioè i ioni positivi in esso contenuti si dirigono verso il catodo, e quelli negativi, insieme agli elettroni negativi liberi, se ve ne sono, si avviano verso l'anodo. Se non interviene una rinnovata ionizzazione, il gas perderà naturalmente in breve la proprietà di conduttore, ciò che l'esperienza ha sempre confermato.

Verosimilmente la ionizzazione si compie sopratutto sugli atomi, e consiste nel separarsi da essi di un elettrone negativo, il quale, se il gas non è molto rarefatto, non tarderà ad incontrare un atomo in condizioni favorevoli per essere da esso assimi-

Digitized by Google

lato. Tale atomo diviene allora un ione negativo. Ma può darsi che la ionizzazione si compia anche su molecole costituite da più atomi, potendosi esse dividere in due ioni di opposto segno.

La ionizzazione richiederà in generale una spesa o consumo di energia, e questa potrà essere fornita sotto diverse forme. Per esempio, le onde luminose, e segnatamente le più rifrangibili e le ultraviolette, ionizzano i metalli e vari altri corpi quando cadono su di essi, cosichè essi emettono allora elettroni negativi (che divengono ioni negativi se il gas non è rarefatto). In tal caso l'energia necessaria è tolta da quella recata dalle onde. In modo simile si comportano i così detti raggi X, i quali, secondo l'opinione dei più, consistono in onde d'impulso propagantisi nell'etere, come l'onda d'una esplosione si propaga nell'aria, e partenti dai luoghi ove elettroni in rapido movimento siano arrestati, o in generale subiscano una brusca variazione di velocità.

Ma l'energia necessaria a ionizzare un gas può essere fornita sotto forma d'energia di atomi, molecole, e più particolarmente di ioni già formati o di elettroni. In questi ultimi due casi, che sono forse i più importanti fra quelli di ionizzazione,

Digitized by Google

interviene generalmente l'azione di una forza elettrica, o, come si suol dire, l'azione del *campo* elettrico, in quanto che le particelle elettrizzate acquistano, sotto l'azione della detta forza, una velocità, e quindi una energia di moto, di più in più grandi.

Come si osservò più sopra (§ 2), le forze che esercita sopra una particella (molecola, atomo, ecc.) un'altra particella che gli giunga vicino, e cioè nell'istante in cui avviene ciò che per brevità di linguaggio dicesi urto o collisione, possono avere direzioni e grandezze varie a seconda della posizione relativa delle due particelle, e a seconda del modo nel quale si trovano distribuiti gli elettroni che le costituiscono. Potrà accadere che ad un dato istante su un elettrone negativo della particella neutra (atomo o molecola) *urtata* da un'altra, agisca una forza diretta in guisa da tendere ad allontanarlo dagli altri a cui si trova associato. Esso tuttavia non potrà staccarsi completamente se non vincendo le forze che lo trattengono, ciò che richiede una certa quantità d'energia, che potrà essere fornita dalla particella urtante, se il suo moto traslatorio è sufficientemente rapido. Ora questo è quanto

Digitized by Google

facilmente accade, se la particella urtante è elettrizzata (ione o elettrone libero), e se ha subìto per una sufficiente durata l'azione acceleratrice di un campo elettrico abbastanza intenso.

In un campo elettrico di debole intensità un gas contenente ioni li perde in breve, sia per la neutralizzazione reciproca all'incontro fra ioni di opposto segno, sia per la loro neutralizzazione sugli elettrodi, e quindi la sua conducibilità presto sparisce, a meno che non esista una causa esterna di ionizzazione, come un forte riscaldamento, o l'azione di certe radiazioni (raggi X, raggi ultravioletti, ecc.). Fra un urto e l'altro contro atomi o molecole, un ione non riesce infatti ad acquistare una energia di moto sufficiente perchè possa creare nuovi ioni, e quindi l'effetto degli urti si limita a ciò, che la velocità dei ioni rimane sempre piccola, di guisa che ad ogni istante essi si muoveranno in direzione assai poco differente da quella della forza elettrica, ossia percorreranno sensibilmente le linee di forza elettrica.

Potrà accadere altresì che, dopo l'incontro di un ione con un atomo o una molecola, si formi un aggregato complesso, cui potranno unirsi altre

Digitized by Google

molecole o altri atomi. Prenderanno allora origine i così detti *grossi ioni*, la cui esistenza è stata in varie circostanze dimostrata, e che, insieme ai granuli dei liquidi colloidali, sembrano offrire l'esempio di stati di aggregazione della materia intermedi fra le molecole ed i corpi propriamente detti.

Se al contrario il campo ha una intensità superiore ad un certo minimo, la conducibilità del gas, in seguito all'incessante creazione di nuovi ioni per urto dei preesistenti, anzichè tendere a sparire, cresce rapidamente sino a divenire grandissima e a conservarsi tale. Una scarica o corrente elettrica (che si dirà giustamente *autonoma*) potrà allora attraversare il gas, senza che vi sia bisogno di una azione ionizzatrice esterna agente in modo continuo.

La ionizzazione per urto è accompagnata da sviluppo di luce. Si comprende infatti assai bene come, nell'atto in cui la compagine d'un atomo subisce la crisi di perdere un elettrone negativo, tutti gli altri elettroni rimasti risentano una brusca perturbazione che li farà vibrare, e divenire così per qualche istante centri d'emissione d'onde

Digitized by Google

nell' etere. In ultima analisi la luce delle scariche elettriche o dell' arco voltaico, ha questa medesima origine.

Un caso tipico di scarica elettrica è quello della scarica, o del passaggio della corrente elettrica in un gas rarefatto. È indispensabile, per ciò che seguirà, accennare qui al meccanismo col quale viene spiegata quella scarica, omettendo per semplicità i dettagli di secondaria importanza, e tenendo presente che, per quanto ora si sa, deve prendersi in considerazione l' esistenza e la mobilità degli elettroni negativi e non dei positivi, la individualità dei quali è anzi messa da alcuni in dubbio, come si è già notato.

I pochi ioni dei due segni ed eventualmente i pochi elettroni negativi esistenti nel gas, che generalmente non è mai assolutamente privo di qualche conducibilità, si spostano in direzioni opposte sotto l' azione del campo elettrico dovuto ai due elettrodi. Non si deve ammettere naturalmente, che ognuna di quelle particelle elettrizzate si muova in linea retta e con crescente velocità verso l' elettrodo di contraria carica. Ciascuna di esse, come le molecole stesse del gas, percorre dei tratti rettilinei

Digitized by Google

collegati da tratti curvilinei dovuti ai così detti urti con altre particelle; ma mentre ogni particella non avrebbe, in assenza del campo elettrico, tendenza alcuna a seguire una speciale direzione piuttosto che un'altra qualunque, per effetto della forza elettrica accadrà, che essa andrà accostandosi all'elettrodo di opposto segno. Inoltre, se il campo è abbastanza intenso, avrà luogo la ionizzazione per urto, in virtù della quale il numero dei ioni e degli elettroni negativi liberi andrà rapidamente aumentando, sino ad aversi un compenso fra la produzione di essi e la loro scomparsa per formazione d'atomi neutri in contatto degli elettrodi, o in seguito ad incontri fra ioni di segno opposto.

Ma in conseguenza dello speciale comportamento degli elettroni negativi, che è causa della nota generale diversità degli effetti che si producono in ogni caso presso i due elettrodi, la ionizzazione assume, nel gas molto rarefatto, un ordinamento particolare. Gli elettroni negativi respinti dal catodo (o da esso emessi, qualora si ammetta che esista in piccolo grado per tutti i corpi una proprietà accertata in alcuni di essi) se ne allon-

Digitized by Google

tanano con velocità crescente, sinchè, avendo acquistata la necessaria energia di moto, ionizzano le particelle gassose incontrate sul loro cammino. Si forma così a qualche distanza dal catodo una regione luminosa chiamata *bagliore* o *secondo strato* luminoso del catodo. Mentre poi i nuovi elettroni, risultanti da tale ionizzazione, si uniscono agli altri dirigendosi verso l'anodo, i ioni positivi, da questi ultimi creati, si precipitano verso il catodo per andare a neutralizzarvisi, ossia trasformarsi in atomi, non che per ionizzare il gas attiguo a questo elettrodo, generando così quello che si chiama il *primo strato* luminoso negativo o del catodo. I due strati catodici risultano separati quindi da un intervallo relativamente oscuro (*spazio oscuro* del catodo), più o meno grande a seconda della maggiore o minore rarefazione, e che mostra all' occhio la grandezza del cammino che devono percorrere gli elettroni, e sopratutto i ioni positivi, prima di acquistare la energia necessaria per divenire ionizzatori. Infine gli elettroni negativi, perduta gran parte della loro energia di moto nel secondo strato del catodo, percorrono un certo nuovo intervallo (*spazio oscuro* di Faraday) prima di potere nuovamente ioniz-

Digitized by Google

zare il gas, e produrre così la *luce positiva,* cioè quella colonna di luce, che si prolunga sensibilmente sino all' anodo.

La colonna positiva ha, nell' aria e in alcuni altri gas quando la pressione non è troppo ridotta, un colore diverso da quello dei due strati negativi o catodici, essendo rosea o rossa, mentre il secondo strato luminoso del catodo è azzurro-violetto, ed il primo bianco o spesso giallognolo o rossastro. In molti casi la colonna positiva è suddivisa in parti separate da intervalli relativamente oscuri, ossia è stratificata, ciò che sembra dipendere dal fatto, che gli elettroni perdono, assai prima di raggiungere l'anodo, la velocità necessaria per produrre la ionizzazione, e debbono quindi percorrere nuovi intervalli senza rendere luminoso il gas, prima di ricuperare l' energia occorrente.

A grandi rarefazioni o con catodi di ristrettissima superficie lo sciame d' elettroni negativi respinti dal catodo mostra in modo evidente di costituire una vera radiazione (*raggi catodici*), cioè un sistema di particelle fra loro indipendenti lanciate dal catodo secondo linee rette sensibilmente in direzione normale alla sua superficie.

Digitized by Google

D'altra parte, i ioni positivi attratti dal catodo, quando possano contornarne la periferia o incontrare fori o canali in esso praticati, passano al di là del detto elettrodo, costituendo i così detti ***raggi-canali***. Di queste due specie di raggi tratteremo nei due seguenti capitoli.

Digitized by Google

Digitized by Google

Capitolo II.

RAGGI DI ELETTRONI NEGATIVI

6. - Natura e proprietà dei raggi catodici.

La distanza a cui si estende dal catodo il primo strato luminoso negativo, l'ampiezza dello spazio oscuro che lo segue e quella del secondo strato negativo che vien dopo, crescono di più in più quando diminuisce la pressione del gas in cui avviene la scarica, cosicchè facilmente si giunge a far in modo, che il secondo strato arrivi alla parete del recipiente. Questa diviene allora fosforescente, e se un ostacolo solido si trova davanti ad essa, questo proietta un'ombra, la quale, per la forma e la posizione occupata, dimostra essere la fosforescenza del vetro eccitata da raggi partenti in linea retta dal catodo. Se la rarefazione è sufficiente, la luce dei due strati è tanto debole da non essere più distinguibile, mentre la luce positiva è ridotta ad una minima estensione o è sparita

Digitized by Google

affatto; cosicchè non si vede allora null'altro che la luce di fosforescenza.

Dopo che per breve tempo Hertz ed alcuni altri fisici onde spiegare questo fenomeno ebbero a supporre, che il catodo fosse sede d'un fenomeno ondulatorio analogo alla luce, e cioè da esso partissero onde eteree capaci di eccitare la fosforescenza, di guisa che i *raggi catodici* avrebbero dovuto considerarsi quasi come raggi luminosi, si dovè riconoscere, che i detti raggi catodici sono costituiti da particelle cariche negativamente lanciate dal catodo nelle direzioni normali alla sua superficie, e capaci di eccitare, col loro urto o col loro scaricarsi sul corpo urtato, la fosforescenza. Secondo il Crookes, che dei raggi catodici fece uno studio accurato e brillante, le particelle in moto sarebbero state le molecole stesse del gas caricantesi sul catodo e da questo conseguentemente respinte; e così si sarebbe avuto nei raggi catodici un esempio di vera *materia radiante*.

Le ricerche posteriori, compiute in gran parte da J. J. Thomson e dai suoi allievi, hanno invece dimostrato, che si tratta bensì di particelle negative, ma non di molecole e neppure di atomi.

Digitized by Google

Si è constatato infatti, sia con opportune misure delle deviazioni subìte dai raggi catodici per opera di campi elettrici o magnetici, sia con altri diversi metodi: 1° che la carica elettrica di ognuna delle particelle costituenti i raggi catodici è eguale a quella che spetta ai ioni monovalenti dell'elettrolisi; 2° che tali particelle hanno inerzia, ossia possiedono una certa massa, la quale però non eguaglia quella d'una molecola del gas in cui si formano i raggi catodici, ma è molto più piccola, e precisamente eguale a poco più della duemillesima parte della massa di un atomo d'idrogeno; 3° che le particelle stesse risultano sempre identiche, qualunque siano il gas contenuto nel tubo di scarica e le sue condizioni fisiche, e qualunque sia la natura degli elettrodi.

Ritenuto che le particelle in moto costituenti i raggi catodici constino di una certa quantità di materia unita ad un elettrone negativo, cioè alla carica (negativa) propria di ogni valenza atomica, bisognava necessariamente ammettere, non solo che le particelle medesime fossero ioni monovalenti di un nuovo elemento chimico di peso atomico piccolissimo, ma ancora che tale nuovo elemento fosse

Digitized by Google

contenuto negli atomi di un gran numero di corpi, e verosimilmente di tutti, ciò che bastava per concludere, che gli atomi stessi più non meritavano tale loro denominazione.

In altri termini, naturalmente si giunse ad ammettere l' esistenza della tante volte supposta sostanza universale costituente gli atomi di tutti quanti i corpi conosciuti, i cui pesi atomici sarebbero per tal modo multipli esatti del peso d' ogni particella catodica.

Ma non si è tardato a preferire a questo modo di vedere un altro più semplice, e cioè a ritenere, che quelle particelle siano semplicemente elettroni negativi o atomi d' elettricità negativa, e che la massa piccolissima da essi posseduta sia un'apparenza, e si debba, come fu spiegato più sopra (§ 3), alla reazione elettromagnetica dell'etere. Gli elettroni negativi farebbero parte quindi della struttura degli atomi tutti, ciò che la teoria elettrica della materia spiega nella più semplice maniera.

È dunque sopra tutto sui risultati ottenuti colle ricerche relative ai raggi catodici, che si è basata questa teoria; a norma della quale è lecito, come si è già notato, considerare i raggi catodici come

Digitized by Google

un primo esempio di *materia radiante*, benchè a rigore siano piuttosto *elettricità radiante*.

Oltre che produrre la descritta fosforescenza i raggi catodici riscaldano, spesso anzi fortemente, i corpi incontrati sul loro cammino, ciò che è un esempio di trasformazione d'energia di moto in energia calorifica; determinano (in parte almeno come effetto susseguente al riscaldamento da essi generato) un movimento dei corpi stessi; ne modificano in alcuni casi la chimica costituzione; ed infine li rendono centri d'emissione d'una nuova radiazione, cioè dei famosi raggi X, considerati generalmente come la manifestazione di onde nell' etere prive di periodicità, ossia di onde di semplice impulsione.

7. - **Visibilità dei raggi catodici.**

In realtà i raggi catodici sono costituiti da quegli elettroni negativi che, partiti dal catodo o dal primo strato negativo, giungono con velocità crescente a dare origine al secondo strato; e siccome l' intervallo che separa i due strati non è completamente

Digitized by Google

privo di luce, così si può dire, che i raggi catodici sono visibili. La luce, che è generata lungo il loro cammino, ha verosimilmente la stessa causa di quella che parte dal secondo strato, cioè la ionizzazione del gas. D'ordinario però viene considerata, non si può dire con quanta ragione, come una fluorescenza destata nel gas medesimo. Se il catodo ha piccole dimensioni, l'insieme degli elettroni da esso respinti assume l'aspetto di un filetto luminoso assai più distintamente visibile, che, a parità d'altre condizioni, si estende assai più in lunghezza.

Può accadere altresì, specialmente in causa dell'influenza esercitata dalle pareti elettrizzate del tubo, che anche con un catodo di non piccole dimensioni l'emissione degli elettroni si concentri specialmente nella sua parte centrale, e veggansi come cose affatto distinte i due strati negativi, ed i raggi catodici più lunghi e più luminosi partenti dal centro del catodo.

La luminosità lungo l'intero percorso dei raggi catodici si osserva particolarmente bene coi gradi medi di rarefazione. Se questa è spinta assai, come nei più *duri* di quei tubi, oggi tanto comuni, che

Digitized by Google

sono adoperati a generare raggi X, l'esistenza dei raggi catodici non si rivela che colla fosforescenza delle pareti, o cogli altri effetti che essi sono capaci di produrre.

Per osservare un fascio di raggi catodici lungo e sottile e ben luminoso non è necessario far uso di catodi di ristretta superficie. Si può ottenere l' intento coll' impiego di tubi strozzati, cioè di recipienti o tubi di scarica di tale forma, che in un certo punto la sezione trasversale di essi sia ridotta piccolissima. Si può impiegare, per esempio, un tubo diviso in due capacità distinte per mezzo di una parete, nella quale sia praticato un piccolissimo foro; oppure due recipienti, uno dei quali porta l'anodo e l' altro il catodo, messi in comunicazione per mezzo di un tubetto sottile.

In tali condizioni si osservano dalle due parti del foro o della strozzatura le stesse apparenze luminose che si avrebbero, se il foro funzionasse da catodo nella parte del tubo ove si trova l'anodo, e da anodo nell'altra porzione del tubo. In particolare, con un conveniente grado di rarefazione, vedesi un lungo e sottile filetto di raggi catodici partire dal forellino e penetrare sino ad una certa

Digitized by Google

distanza in quella parte del tubo che contiene l'anodo.

Questo modo di comportarsi dei tubi strozzati, su cui avremo occasione di tornare, fu osservato, a quanto pare, per la prima volta da chi scrive, in un caso nel quale si aveva, non un gas rarefatto entro il recipiente strozzato, ma un liquido, e questo era percorso da scariche di condensatori. Più tardi il fisico tedesco Goldstein osservò l'analogo fenomeno nel gas rarefatto.

Il fascio catodico visibile, fornito dai tubi a strozzatura, si presta particolarmente bene per mostrare la deformabilità dei raggi sotto l'azione di forze elettriche o magnetiche. È chiaro, che un campo elettrico farà incurvare i raggi catodici, appunto perchè costituiti da cariche negative. D'altra parte un campo magnetico agirà su di essi come su un filo flessibile percorso dalla corrente elettrica e attaccato al catodo per una delle sue estremità, come si vedrà in seguito.

Il Wehnelt ha insegnato una maniera di ottenere facilmente dei raggi catodici ben visibili, e particolarmente atti a mostrare le modificazioni della forma loro per effetto di corpi elettrizzati o di poli

Digitized by Google

magnetici. Essa consiste nell'adoperare come catodo una piccolissima massa di ossido di calcio o d'altro ossido di un metallo alcalino-terroso, posta sopra una lamina di platino resa rovente da una corrente elettrica. La caduta di potenziale catodica, ossia la differenza di livello elettrico necessaria alla scarica, la quale si manifesta quasi per intero fra il catodo ed il secondo strato negativo, è, con catodi di quella specie, assai più piccola che coi catodi metallici. Perciò la velocità degli elettroni partenti dall'ossido è relativamente piccola, in confronto di quella che posseggono negli ordinari raggi catodici (la quale può arrivare ad essere più della metà di quella della luce), e per conseguenza la deviazione di essi per opera d'una forza elettrica o magnetica è assai più pronunciata, che quando si impiegano gli ordinari tubi di scarica.

La *fig. 1* mostra un dei tubi di Wehnelt. Vedesi in *C* la laminetta di platino (figurata di prospetto nella porzione di destra del disegno), arroventata dalla corrente fornita da alcuni accumulatori, che arriva ad essa attraverso i fili metallici *m n*. Una piccola macchia di calce *B* aderente al platino costituisce il vero catodo, mentre l'anodo d'allu-

Digitized by Google

minio *A* trovasi in una posizione qualunque del tubo. Il filetto azzurro *Ca* di raggi catodici è normale alla lamina di platino; ma se una lastrina metallica *L* viene elettrizzata negativamente, il

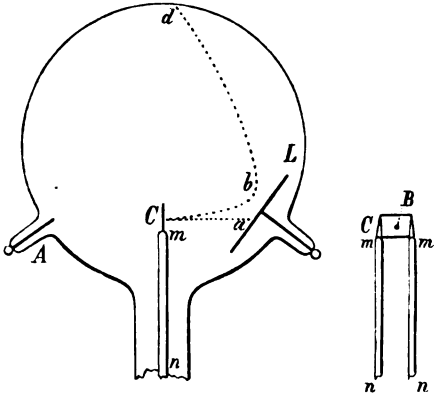

Figura 1.

fascetto di raggi catodici è da essa respinto, ed assume la forma *Cbd*.

Non meno facile da ottenersi è la deviazione magnetica, bastando accostare al tubo una piccola calamita per vedere il filetto di luce azzurra assumere una forma circolare o press'a poco elicoidale.

Raggi catodici lenti, cioè costituiti da elettroni animati da velocità relativamente piccole, si otten-

Digitized by Google

gono altresì facendo agire sul catodo certe radiazioni, e particolarmente le radiazioni invisibili ultra-violette.

8. - **Raggi di Becquerel.**

Come si è detto nel paragrafo 4, i corpi radioattivi possono emettere tre specie di radiazioni. Dobbiamo prendere qui in considerazione quelle che furono scoperte per prime, e cioè i raggi di Becquerel o raggi β, che sono costituiti, come i raggi catodici, da elettroni negativi in rapido movimento.

Un fascio ristretto di tali raggi, ottenuto limitandone la sezione con un diaframma forato, si trasforma in un largo ventaglio, o meglio in un fascio curvilineo divergente, allorchè si fa su di esso agire un campo elettrico oppure un campo magnetico. Ciò è conseguenza del fatto, che il corpo radioattivo emette elettroni negativi dotati di velocità svariate. Ma generalmente si constata, in base ad opportune misure, che tutte queste velocità sono grandissime, in parte almeno anche più grandi di quelle che posseggono i raggi cato-

Digitized by Google

dici dei nostri tubi di scarica. Si trovano infatti perfino velocità eguali a nove decimi di quella della luce, la quale tuttavia è notoriamente grandissima, e cioè circa trecentomila chilometri al secondo. In virtù di questa enorme velocità, i raggi β si prestavano, meglio dei raggi catodici generati nei tubi di scarica, a verificare una conseguenza dell'ipotesi attualmente ammessa, secondo la quale la massa degli elettroni è una massa apparente o elettromagnetica. È infatti un carattere inerente a questa massa elettromagnetica di non essere costante, ma di crescere invece al crescere della velocità di cui l'elettrone è animato. Tale aumento, insensibile praticamente finchè la velocità stessa non è estremamente grande, deve manifestarsi quando arrivi a valori vicini a quello della velocità della luce. Lunghe e accurate esperienze dovute al Kaufmann hanno appunto confermato quel fatto, d'importanza evidentemente fondamentale.

In causa della loro maggiore velocità, la penetrazione dei raggi β nei vari corpi è assai maggiore che quella dei raggi catodici. Mentre questi possono attraversare appena foglie metalliche sottili, i raggi β possono manifestarsi nettamente al di là di lamine

Digitized by Google

metalliche di qualche millimetro, e, con certi corpi, di qualche centimetro di spessore.

Vi sono però corpi radioattivi che emettono raggi β relativamente lenti, cioè elettroni dotati di velocità dell'ordine di grandezza di quelle dei raggi catodici, o anche molto più piccole.

9. - Raggi secondari.

Quando gli elettroni negativi costituenti i raggi catodici oppure i raggi β incontrano le molecole d'un corpo, essi producono, oltre agli altri effetti già indicati, la formazione di nuovi raggi catodici, detti raggi *secondari*, la cui velocità è minore in generale di quella dei raggi incidenti. Gli elettroni che li costituiscono sono verosimilmente parte di quelli formanti i raggi incidenti, e in parte provenienti da ionizzazione da questi ultimi prodotta.

Se il corpo colpito da raggi catodici è un metallo, si constata quasi sempre che esso si carica negativamente, ciò che mostra evidentemente essere il numero di elettroni che da esso partono minore del numero di quelli dai quali è urtato. Però se

Digitized by Google

l'incidenza è grande, e cioè se i raggi arrivano al metallo, supposto piano, in direzione quasi parallela alla sua superficie, si raccoglie in esso una carica positiva, e cioè in questo caso il numero degli elettroni creati dagli urti supera quello degli elettroni trattenuti dal corpo. Ciò basta per far prevedere, che i raggi secondari devono avere in complesso minor velocità dei raggi incidenti.

I raggi secondari non hanno la stessa intensità in tutte le direzioni; in quella che seguirebbero i raggi riflessi, se la lastra metallica fosse uno specchio ed i raggi incidenti fossero raggi di luce, si ha un numero d'elettroni notevolmente maggiore che in ogni altra direzione, ciò che si può considerare come effetto di una riflessione degli elettroni.

Si formano raggi secondari anche quando il corpo colpito è un gas, ed avremo più oltre occasione di prendere in considerazione appunto i raggi catodici secondari aventi origine da ogni punto dei raggi partenti dal catodo in un tubo di scarica. D'altra parte sono noti, specialmente in seguito alle ricerche del Sagnac, i raggi secondari generati dai raggi emessi dai corpi radioattivi,

Digitized by Google

nonchè i raggi terziari ecc., che possono pure successivamente formarsi.

Secondo ricerche recentissime di J. J. Thomson [1] i raggi catodici secondari, generati dalle molecole gassose urtate dai raggi catodici ordinari, avrebbero una velocità sempre la stessa, cioè indipendente dalla natura del gas e dalla velocità degli elettroni urtanti; inoltre i raggi secondari generati dall'urto dei raggi catodici su lastre metalliche avrebbero essi pure sensibilmente la stessa velocità. Si dirà più oltre in qual modo il fisico inglese citato or ora cerca di rendere conto di questo fatto notevole.

I raggi catodici secondari possono prendere origine anche per opera di raggi d'altra specie. Così si può dire, che l'emissione di elettroni negativi dai corpi colpiti da raggi luminosi o ultravioletti, oppure dai raggi di Röntgen, costituisce una radiazione catodica secondaria. Lo stesso effetto è prodotto altresì dai raggi positivi, dei quali ci occuperemo nel capitolo seguente. Anch'essi, benchè siano costituiti da ioni positivi anzichè da elettroni negativi,

(1) *Phil. Mag.*, October 1908.

Digitized by Google

ionizzano i corpi incontrati nel loro cammino, con conseguente emissione di elettroni negativi resi liberi dagli urti.

Un'altra specie di raggi catodici secondari ha spesso una parte ragguardevole nei fenomeni di scarica. In realtà tali raggi dovrebbero dirsi senza altro raggi catodici, perchè essi prendono origine da un corpo funzionante da catodo, qual'è appunto la parete del tubo di scarica toccata esternamente col dito o con un qualsiasi conduttore comunicante col suolo.

Ecco come si può spiegare la formazione di tali raggi.

La faccia interna della parete del tubo di scarica si elettrizza, e la sua carica è prevalentemente positiva. Ne consegue, che il conduttore posto esternamente in contatto della parete si carica negativamente, e perciò si ha internamente una emissione di raggi catodici tendente a ristabilire l'equilibrio elettrico perturbato. A seconda dei casi tali raggi catodici, partenti dalla parete in corrispondenza della regione toccata, sono visibili per sè stessi, oppure sono rivelati dalla fosforescenza da essi destata nella parete opposta.

Digitized by Google

In ogni caso la loro presenza si rivela altresì dalla loro trasformazione, che avviene quando si verificano certe condizioni, in quei *raggi magnetici*, dei quali si tratterà più specialmente in questo libro.

Digitized by Google

Digitized by Google

Capitolo III.

RAGGI DI IONI POSITIVI

10. - I raggi positivi.

I ioni positivi generati in un tubo di scarica dall' urto degli elettroni respinti dal catodo sono da questo attratti, come si è già detto, e vanno così a neutralizzarsi con elettroni negativi o a ionizzare il gas nel primo strato negativo. Essi costituiscono una radiazione di ioni positivi. Un ostacolo posto sul loro cammino proietta un' ombra sul catodo, in quanto che, trattenendoli, sopprime la parte corrispondente del primo strato negativo. Il senso nel quale i raggi positivi sono deviati da corpi elettrizzati o da una calamita rende palese la loro natura di cariche positive in moto, e le misure relative rivelano, che posseggono delle masse dell' ordine di grandezza delle masse atomiche. Altrettanto può dirsi dei raggi-canali, che sono in certo modo un prolungamento di quelli

Digitized by Google

che si dirigono dal secondo strato negativo verso il catodo.

Anch' essi emettono generalmente una luce giallo-rossa, e provocano sulle pareti una fosforescenza speciale, diversa da quella prodotta dai raggi catodici. Il vetro da essi colpito emette infatti una luce giallo-arancio, che lo spettroscopio rivela essere dovuta al sodio contenuto nel vetro stesso.

La luminosità che rende visibili i raggi positivi in tutto il loro percorso è di natura affatto diversa da quella, che in determinate circostanze rende visibile il cammino dei raggi catodici.

Il signor Stark ha infatti scoperto, che le particelle costituenti i raggi-canali sono luminose per sè stesse, e devono quindi considerarsi come sorgenti luminose in moto.

Ciò è reso manifesto dall'osservazione dello spettro di detta luce. Veggonsi infatti le righe spettrali caratteristiche del gas contenuto nel tubo di scarica, non però nella loro posizione, ma bensì tutte spostate, in un senso o in senso opposto a seconda della direzione data allo spettroscopio.

Esse appaiono spostate verso il violetto, se i raggi-canali si muovono obliquamente verso lo

Digitized by Google

strumento ottico; il loro periodo vibratorio appare cioè diminuito, precisamente come appare più acuto del vero il suono emesso da un corpo sonoro, che stia avvicinandosi a chi lo ascolta (principio di Döppler). Naturalmente, se i raggi camminano allontanandosi dallo spettroscopio, si ha uno spostamento opposto.

In realtà ogni riga dello spettro è piuttosto allargata che spostata, o per meglio dire la riga primitiva persiste impallidita, mentre apparisce la riga spostata ed allargata a guisa di sfumatura, in tale maniera da indicare, che esistono nei raggi-canali particelle dotate di velocità nulla o piccolissima insieme ad altre assai veloci, e che la luminosità di queste ultime comincia a manifestarsi solo quando la loro velocità è maggiore di un certo minimo.

Le righe non spostate sono dovute verosimilmente alle vibrazioni degli elettroni facenti parte della struttura degli atomi gassosi, nell'atto degli urti reciproci o coi ioni; le righe sfumate e spostate devono attribuirsi alle vibrazioni degli elettroni negli atomi in moto, i quali sono perturbati e messi in vibrazione nel passare in prossimità di altre

Digitized by Google

particelle, in certo modo come le corde d'uno strumento musicale possono entrare in vibrazione, se, messo in moto lo strumento, le corde incontrano lievi attriti lungo la loro strada.

L'analoga osservazione fatta sulla luce del primo strato negativo ha dato un risultato simile, dimostrando che la suddetta luce è dovuta a ioni positivi luminosi per sè stessi, e dotati di rapido moto verso il catodo. Ma si rivela altresì la presenza di ioni muoventisi in contrario senso, cioè nel senso dei raggi catodici. Essi formano i raggi *retrogradi*, dei quali si tratterà fra poco.

11. - Carica e costituzione dei raggi-canali.

Mentre colla nota esperienza del Perrin è stato facile dimostrare il trasporto di elettricità negativa operato dai raggi catodici, l'analoga esperienza tentata sui raggi-canali non ha dato un risultato costante e sicuro. Benchè fino ad un certo punto ciò si possa spiegare colla conducibilità assunta dal gas ambiente in seguito alla sua ionizzazione, qualcuno ha messo in dubbio, che i raggi canali siano costituiti veramente da ioni positivi;

Digitized by Google

ma il fatto della deviabilità di essi per opera di un intenso campo elettrico o magnetico, sembra sufficiente per togliere tali dubbi.

È però verosimile, che oltre a ioni positivi i raggi-canali contengano atomi gassosi neutri, giacchè di tali atomi debbono formarsene, allorchè i ioni positivi, che si precipitano verso il catodo, incontrano degli elettroni negativi. È altrettanto probabile inoltre, che in seguito agli urti di tali atomi e dei ioni positivi contro le molecole gassose prendano origine alcuni elettroni e ioni negativi, come pure *grossi ioni*, cioè aggregati complessi elettrizzati; e certi fenomeni ne indicano appunto l'esistenza nei raggi-canali. Si rende conto anzi del fatto, che i raggi-canali si allargano a ventaglio, mostrandosi così costituiti da particelle aventi differenti gradi di deviabilità, ammettendo appunto l'esistenza dei grossi ioni.

Dello stesso fatto si può dare però anche un'altra spiegazione, sull'appoggio di recenti ricerche del Wien [1] e di J. J. Thomson [2]. Una stessa parti-

[1] *Phys. Zeitschr.*, 9, p. 765, 1908.
[2] Loc. cit.

Digitized by Google

cella in moto facente parte dei raggi-canali sarà ora atomo neutro ora ione durante il suo percorso, in causa degli urti che possono far perdere ad essa o fargli acquistare degli elettroni. Quella particella sarà per conseguenza più o meno deviata dal suo cammino rettilineo per opera d'un campo magnetico o di un campo elettrico, secondo che essa è rimasta carica per una porzione più o meno lunga della via percorsa. Secondo il Wien, la luce emessa dai raggi-canali proverrebbe sopratutto dalle particelle neutre, ossia dagli atomi, in quanto che egli avrebbe osservato che, facendo agire una calamita in modo da deviare i ioni, la luminosità della porzione non deviata non rimane sensibilmente affievolita.

Una notevole ricerca sperimentale del Thomson tende a provare che, quando i raggi-canali sono generati in un gas a rarefazione molto spinta, e quindi con potenziale di scarica molto elevato, essi risultano costituiti da particelle, aventi masse di due grandezze, e precisamente o eguale a quella dell'atomo di idrogeno o di grandezza doppia di questa.

Si avrebbero cioè ioni positivi d'idrogeno insieme

Digitized by Google

a molecole d' idrogeno elettrizzate positivamente, o forse più verosimilmente ioni positivi d' idrogeno insieme ad atomi di elio, dotati questi ultimi di una carica positiva equivalente a due elettroni, e perciò ioni bivalenti, identici a quelli che si ritiene ormai costituiscano i raggi α dei corpi radioattivi. E ciò indipendentemente dalla natura del gas contenuto nel tubo di scarica, che può essere esente da idrogeno ed elio. La cura con cui il Thomson cercò di escluderne ogni traccia fu estrema, specialmente dopo l' obiezione fattagli in questo senso dal Wien.

Per rendere conto in qualche maniera di questo fatto il Thomson ricorre alla ipotesi seguente. Adottando il concetto dei sistemi doppi ione positivo-elettrone, esposto poco prima da chi scrive (e su cui si basa la teoria dei fenomeni, allo studio dei quali è questo libro principalmente dedicato), il Thomson ammette [1], che il primo effetto dell' urto contro un atomo sia quello di separarne dei sistemi costituiti appunto da un ione positivo d'idrogeno (o di elio) intorno a cui gravita un elettrone negativo (o due).

[1] Loc. cit., p. 685.

Digitized by Google

Tali sistemi, dotati di stabilità limitata, si scinderebbero poscia in ioni positivi, che andrebbero a far parte dei raggi-canali, ed in elettroni negativi, che entrerebbero a costituire i raggi catodici secondari. La costanza della velocità di questi, che non sarebbe altro che la velocità posseduta dagli elettroni nell'atto di liberarsi, resterebbe in tal modo spiegata (veggasi § 9).

Una volta messa fuori di dubbio la produzione di raggi di ioni positivi di elio e di idrogeno, in tubi di scarica dai quali questi gas furono esclusi con ogni cura, si avrebbe un nuovo motivo da aggiungere all'altro desunto dallo studio dei fenomeni della radioattività, per pensare alla preesistenza di atomi di quei due corpi nella struttura atomica d'altri corpi chimicamente diversi e considerati finora come indecomposti.

In ogni modo da quanto si è detto in questo paragrafo risulta evidente, come lo studio delle scariche elettriche, e più particolarmente quello dei raggi positivi, sia ben lungi dall'essere esaurito.

Digitized by Google

12. - Raggi positivi retrogradi.

Profittando della circostanza, che la massa dei ioni costituenti i raggi positivi è grandissima in confronto di quella degli elettroni costituenti i raggi catodici, si può dimostrare, che in un tubo di scarica insieme a questi ultimi raggi partono dal catodo raggi positivi, i quali, muovendosi all' inverso di quelli diretti verso il catodo, possono dirsi *retrogradi*. Se infatti si avvicina al tubo una debole calamita, che valga tuttavia a deviare alquanto i raggi catodici, si vede un pallido fascio di luce, che conserva sensibilmente invariata la primitiva direzione, che aveva in comune coi raggi attualmente deviati. È quello il fascio di raggi positivi retrogradi, che una debole calamita non vale a deviare in causa della maggior massa delle particelle in moto che lo costituiscono, in confronto di quella spettante agli elettroni negativi.

Tali raggi furono osservati da Goldstein, da Villard e più tardi dal Thomson, il quale, quando nel tubo di scarica sia assai spinta la rarefazione,

Digitized by Google

li trova costituiti da ioni d' idrogeno. L' esistenza dei raggi positivi retrogradi risulta d' altronde confermata dall' osservazione spettroscopica, come si è già notato (§ 10).

Come poi essi possano prendere origine è questione non per anche completamente delucidata. Si può dire però, che i raggi retrogradi sono costituiti da ioni positivi rimbalzanti dal catodo, oppure da ioni da questo emessi per effetto del bombardamento dei ioni positivi provenienti dal secondo strato negativo.

Con un' apposita esperienza [1] il Thomson ha potuto verificare questa emissione di raggi positivi per parte d' una lamina metallica colpita da raggi-canali. Rimane a prima giunta difficile il comprendere, come possano i raggi retrogradi possedere una grande velocità, press' a poco eguale a quella dei raggi-canali, pur muovendosi in senso contrario a quello, nel quale li spinge la forza elettrica. Ma si può superare la difficoltà ritenendo che, come avviene pei raggi-canali, durante una buona parte del loro cammino, e specialmente nella

[1] *Phil. Mag.*, t. 14, p. 359, 1907.

Digitized by Google

vicinanza del catodo, le particelle in moto siano atomi neutri. È evidente anzi il modo nel quale essi possono formarsi, in grazia della presenza di elettroni negativi presso il catodo, mentre del pari facilmente si comprende, come gli atomi possano più tardi ridivenire ioni positivi per urto contro altri atomi o ioni.

13. - **Raggi anodici.**

Un attento esame delle scariche nei gas rarefatti, particolarmente in certe condizioni speciali, fa comprendere, che la differenza che esiste nei fenomeni producentisi in prossimità dei due elettrodi è meno profonda di quanto generalmente si ritiene.

Così per esempio esiste uno *spazio oscuro* dell'anodo analogo allo spazio oscuro che separa i due strati di luce negativa; ma mentre quest'ultimo ha il più delle volte tali dimensioni da manifestarsi colla massima evidenza, quello dell'anodo ha una larghezza che d'ordinario non supera un millimetro.

Digitized by Google

D' altra parte non è esatto che la differenza di livello elettrico, o caduta di potenziale, si manifesti durante la scarica solo o quasi esclusivamente presso il catodo, perchè in certi casi si osserva presso l'anodo, quantunque in iscala ridotta, un analogo comportamento. Ciò fa pensare alla possibilità dell'esistenza di raggi anodici analoghi ai raggi catodici, verosimilmente costituiti da ioni positivi anzichè da elettroni, se realmente gli elettroni positivi non possono esistere isolati.

Chi scrive ottenne ripetutamente per l'addietro certi indizi della esistenza di tali raggi positivi partenti dall' anodo; sempre però in modo così poco appariscente da lasciar sussistere qualche dubbio. Meno incerta apparve la produzione di raggi positivi nei tubi strozzati, pur non essendo così sicura da farne oggetto d' una speciale pubblicazione.

Come si è detto (§ 7), se la sezione trasversale del tubo di scarica è ridotta in un certo punto ad un esile foro o canaletto, questo si comporta come elettrodo intermedio, e da esso parte un fascio di raggi catodici, che si dirige verso l' anodo. La produzione degli elettroni negativi necessari per la formazione di questi raggi fa prevedere la produ-

Digitized by Google

zione simultanea di particelle positive, che formeranno dei raggi, partenti dal foro e diretti dalla parte del catodo. Si constata infatti l'esistenza d'un brevissimo ed esile fiocchetto luminoso presentante tali caratteri; ma si tratta sempre di un fenomeno estremamente poco appariscente.

Se non si riesce facilmente a discernere dei veri raggi anodici negli usuali tubi da scarica, si conoscono però certi fenomeni che sono verosimilmente dovuti alla emissione di ioni positivi dall'anodo.

Tale emissione ha indubbiamente luogo da un anodo in forma di punta acuta posto nell'aria alla pressione ordinaria; ma in tal caso non è lecito parlare di raggi anodici, stante la grande densità del gas, e la grande frequenza di urti che da essa consegue. Ma operando in un gas mediocremente rarefatto (pressione di qualche millimetro o di qualche centimetro a seconda dei casi) ed impiegando scariche di condensatori aventi capacità grandissima, chi scrive ottenne certi nuovi fenomeni, a rendere conto dei quali occorre attribuire all' anodo un comportamento analogo a quello usuale del catodo nei gas molto rarefatti, e cioè

Digitized by Google

ammettere l'emissione di ioni positivi dall'anodo, la formazione dei due strati di luce separati da un intervallo relativamente oscuro ecc. In virtù poi della circostanza, che in tali esperienze sono adoperate singole scariche, il fenomeno presenta un carattere speciale, e precisamente il secondo strato luminoso dell'anodo assume un moto traslatorio che lo allontana dall'anodo mentre procede la scarica, ciò che sembra doversi al progressivo variare del potenziale di scarica e alle mutate condizioni del gas. Quello strato luminoso mobile più o meno lentamente, qualche volta seguìto, durante la medesima scarica, da altri successivi, presenta le apparenze di quei problematici fenomeni atmosferici, che chiamansi *folgori globulari* (1).

Speciali altre esperienze (2) valgono poi a rendere palesi gli spostamenti laterali, o deviazioni dei raggi anodici prodotti in simili circostanze, e dovute all'azione di un campo elettrico, indipendente da quello cui si devono le scariche.

(1) *Mem. della R. Acc. di Bologna*, 25 gennaio 1891, 6 aprile 1891, 19 maggio 1895. — *Rend. della R. Acc. dei Lincèi*, 19 aprile 1891. — *La lumière électrique*, t. XLII, 1891.

(2) *Mem. della R. Acc. di Bologna*, 26 maggio 1907.

Digitized by Google

I signori Reichenheim e Gehrcke [1] hanno recentemente trovato modo di dare ai raggi anodici uno sviluppo considerevole, e di renderli in tal modo perfettamente visibili anche negli usuali tubi da scarica.

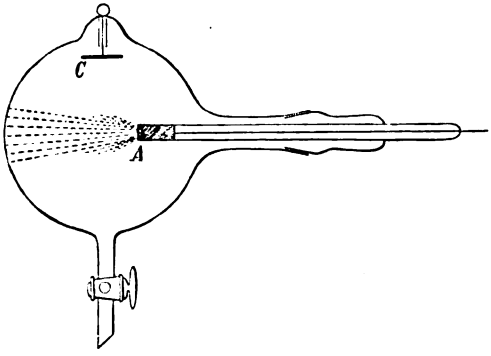

Figura 2.

A questo scopo essi adoperano come anodo una pastiglia formata coll' aggiungere della grafite in polvere ad un sale alcalino (preferibilmente un ioduro) fuso a tale scopo.

L'anodo *A* così costituito (*fig. 2*) comunica coll' esterno per mezzo d'un filo metallico, ed è circondato da un cannello di vetro, che ne lascia

(1) *Bull. de la Soc. franc. de Physique*, 1908, p. 40.

Digitized by Google

libera soltanto la faccia terminale. Una lastrina d'alluminio *C* collocata comunque funziona da catodo.

Si osserva con simile apparecchio una caduta di potenziale all'anodo paragonabile a quella catodica. Intanto dall'anodo stesso parte un fascio di raggi divergenti, che, in seguito all'esame spettroscopico della luce da essi emessa, ed alle deviazioni elettriche e magnetiche di cui sono suscettibili, si mostrano costituiti da ioni positivi luminosi del metallo alcalino contenuto nell'anodo.

Se invece che l'anodo, si costruisce nel modo indicato il catodo, appaiono nettamente visibili i raggi positivi retrogradi, essi pure costituiti da atomi o ioni del metallo alcalino.

Basta poi la presenza d'una traccia di vapori di iodio in un tubo a strozzatura contenente idrogeno rarefatto perchè, secondo i due autori citati, si producano con insolita ampiezza, e quindi chiaramente visibili, i raggi positivi partenti dal foro e diretti verso il catodo.

Digitized by Google

14. - Raggi α.

Anche questi sono raggi di ioni positivi, che però si distinguono da quelli generati nei tubi di scarica, non solo perchè sono sempre costituiti, secondo il Rutherford, da ioni di elio, ma anche per la maggiore velocità dalla quale sono generalmente animati.

In virtù di questa loro grande velocità i raggi α possono manifestare i loro effetti, anche dopo che abbiano attraversato corpi, che arresterebbero completamente i raggi-canali. Ciò si esprime dicendo, che essi sono più *penetranti*. In pari tempo però lo sono incomparabilmente meno dei raggi β.

L'assorbimento che producono sui raggi α i vari corpi da essi attraversati dipende essenzialmente dalla densità di questi corpi e dal loro spessore, indipendentemente o quasi dalla loro costituzione fisica e chimica, ed anzi si può dire, che l'assorbimento stesso dipende quasi esclusivamente dalla quantità di materia posta sul cammino dei raggi. Inoltre vari fatti dimostrano, che l'assorbimento è sopra tutto la diretta conseguenza della diminu-

Digitized by Google

zione di velocità subìta dai ioni positivi in causa dei loro urti contro le molecole, e dell'eventuale ionizzazione di queste.

Gli effetti principali dei raggi α (fosforescenza, azioni fotografiche, ionizzazione) sono infatti prodotti dai detti raggi, solo finchè la loro velocità ha una sufficiente grandezza, e cessano allorchè pel passaggio attraverso un determinato spessore d'un corpo qualunque, la velocità stessa risulta sufficientemente ridotta. Per esempio, nell'aria alle ordinarie condizioni i raggi α hanno una *portata* di alcuni centimetri; cioè al di là di tale distanza essi non producono più gli effetti consueti. Naturalmente la portata dipende dal valore della velocità, colla quale i ioni sono emessi, e questa velocità è diversa pei vari corpi radioattivi. Ne consegue, che misurando la portata dei raggi α, se ne trae un giusto criterio per riconoscere la natura del corpo che li emette, e in particolare scoprire se si ha a che fare con un unico corpo o con un miscuglio di corpi radioattivi.

Le misure della portata dei raggi α nell'aria, principalmente compiute da Bragg e Kleeman [1]

[1] *Phil. Mag*, Dec. 1904, Sept. 1905.

Digitized by Google

e da Rutherford [1], hanno messo in chiaro un fatto degno di speciale considerazione, e cioè che la velocità minima che ancora permette ai raggi α la produzione degli effetti consueti, e in particolare di produrre la ionizzazione, è tutt'altro che piccola. Per esempio i raggi α espulsi dalla sostanza chiamata radio-C, che è quella che emette i più veloci raggi α, perdono la facoltà di ionizzare l'aria, allorchè la velocità stessa è ridotta ai $^2/_5$ del primitivo valore, benchè tale velocità rimanga tuttavia grandissima (migliaia di chilometri al secondo).

Da ciò può trarsi questa conseguenza, e cioè che potrebbero esistere dei corpi, dai quali partissero continuamente dei ioni positivi con velocità grandissime, senza che d'un tal fatto si avesse il menomo indizio. Perciò i mezzi attualmente a nostra disposizione possono benissimo lasciarci ignorare la radioattività eventualmente posseduta da corpi, che ne sembrano privi.

Un altro fatto degno di menzione è il seguente. La ionizzazione dovuta ai raggi α è meno marcata nella immediata vicinanza dei corpi radioattivi che

[1] *Phil. Mag*, July 1905.

Digitized by Google

emettono tali raggi, che non ad una distanza un poco maggiore. Se ne deduce che una velocità troppo grande dei raggi α li rende meno atti alla ionizzazione delle molecole del gas ambiente.

Questo fatto, che del resto è presentato anche dai raggi di elettroni negativi, può spiegarsi nel modo seguente. Se da una parte una troppo piccola velocità dei ioni ha per risultato, che la energia da essi posseduta è insufficiente per produrre la ionizzazione del gas, una velocità troppo grande li rende meno deviabili dal loro cammino, di guisa che essi possono passare a qualche distanza da molte delle molecole del gas, senza accostarvisi quanto basta per modificarne profondamente la struttura e sottrarne elettroni, ossia per produrne la loro ionizzazione.

Stante la grande velocità che posseggono i ioni costituenti i raggi α, i ioni stessi producono effetti osservabili facilmente, anche se il loro numero è ad ogni stante assai piccolo. Così accade nel noto *spintariscopio* di Crookes, che per fosforescenza o in via indiretta, sembra mostrare, colle sue curiose scintillazioni, gli effetti luminosi dei singoli ioni positivi emessi da una quantità estremamente esigua

Digitized by Google

di radio. E lo stesso accade quando, come in una recentissima ricerca di Rutherford e Geiger [1], i ioni entrano, per così dire, uno ad uno, in un gas opportunamente ionizzato, e ad ogni arrivo determinano un brusco e considerevole aumento di conducibilità nel gas medesimo.

[1] *Proc. of the Roy. Soc.* Aug. 27, 1908.

Digitized by Google

Digitized by Google

Capitolo IV.

POSSIBILE ESISTENZA D'ALTRE SPECIE DI MATERIA RADIANTE

15. - **Raggi di elettroni positivi?**

Come si è detto più volte, manca ancora una dimostrazione ineccepibile dell'esistenza degli elettroni positivi, tanto che finora da essi si prescinde, a scopo di semplicità, nel dar spiegazione dei principali fenomeni, e in particolare di quelli offerti dalle scariche elettriche nei gas. Esistono tuttavia certi fatti, che meglio si spiegherebbero qualora si ammettesse, che non solo gli elettroni negativi liberi si spostano o vibrano per produrre correnti elettriche o onde luminose, ma che, almeno in certi casi, altrettanto può accadere di elettroni positivi, cioè di cariche positive eguali, salvo il segno, a quelle che costituiscono gli elettroni negativi, e dotate esse pure di una piccola massa apparente o elettromagnetica.

Digitized by Google

Così, nell' approfondire la teoria della conduzione elettrica nei metalli, si è trovato utile ammettere un movimento degli elettroni delle due specie, mentre sarebbe tanto semplice considerare la corrente elettrica come un semplice flusso di elettroni negativi. È particolarmente l' esame di fenomeni svariati, che si producono allorquando agisce un intenso campo magnetico, che induce a prendere in considerazione gli elettroni positivi. Un esempio è offerto dal così detto fenomeno di Hall, che consiste in una rotazione delle linee di flusso prodotta dal campo in una laminetta metallica percorsa dalla corrente elettrica, e che si spiega ricorrendo all' azione esercitata dal campo sugli elettroni in moto costituenti la corrente. Infatti, essendovi dei corpi che presentano il fenomeno in senso opposto degli altri, si è condotti a supporre, che nei primi la corrente elettrica sia, almeno in parte, costituita da un flusso d'elettroni positivi. Questa conclusione non s' impone però in modo assoluto. Si tratta infatti di fenomeni che avvengono in corpi solidi, nei quali le forze molecolari, ancora così poco conosciute, hanno forse un'azione preponderante. Altrettanto può dirsi del fenomeno

Digitized by Google

riscontrato in certi cristalli dal signor J. Becquerel [1], e che consiste in una inversione nel fenomeno di Zeeman, che sembra pure richiedere di attribuire in questi casi ad elettroni positivi la facoltà di emettere o di assorbire le onde luminose.

Un simile comportamento anomalo è stato recentemente segnalato dal Dufour [2] per alcune righe dello spettro di corpi aeriformi.

Infine, anche il Wood [3], nel corso delle sue importanti ricerche di magneto-ottica, si è trovato in presenza d' un fenomeno inverso di quello che si sarebbe previsto ammettendo l' esistenza dei soli elettroni negativi e non dei positivi. Si tratta anche qui di fenomeni producentisi sotto l' influenza di un intenso campo magnetico, e precisamente della rotazione delle vibrazioni luminose nel vapore di sodio, la quale, pel senso in cui si produce, sembra rendere necessario supporre nell'atomo del sodio la presenza di elettroni positivi capaci di prendere una parte diretta nei fenomeni luminosi.

(1) *Comp. Rend.*, t. 144, pag. 1336 (1907).
(2) *Le Radium*, 1908, pag. 86.
(3) *Phil. Mag.*, 1908, pag. 275.

Digitized by Google

In tutti questi fenomeni, essenzialmente legati alla forza magnetica e alla sua direzione, rimane però sempre qualche cosa di oscuro o d'indeterminato, in quanto che non si è in grado di tener conto debitamente delle modificazioni prodotte nel campo magnetico dalla presenza delle molecole del corpo in cui i fenomeni stessi si producono; d'onde il dubbio, che in prossimità delle molecole stesse possa la forza magnetica avere una direzione diversa da quella supposta.

Non si può dunque dire di avere raggiunto la prova dell'esistenza degli elettroni positivi, ma solo d'avere raccolto favorevoli presunzioni. Del resto, quand'anche la prova esistesse, non ne verrebbe come necessaria conseguenza, che nei tubi di scarica o in altre circostanze abbiano a formarsi dei raggi di elettroni positivi analoghi ai raggi catodici.

Ciò non di meno la produzione di raggi d'elettroni positivi nelle scariche è stata recentemente asserita da Lilienfeld e da J. Becquerel. Ma poichè i risultati del primo di questi fisici sono stati confutati (1), restano da prendersi in considerazione soltanto quelli di J. Becquerel (2).

(1) *Le Radium*, mai 1908, pag. 154.
(2) *Le Radium*, juillet 1908, pag. 193.

Digitized by Google

Mediante tubi di scarica di forma speciale, nei quali si producono al di dietro di un catodo forato oltre che i raggi-canali anche dei raggi catodici, questo fisico ha notato, che a pressione bassissima del gas si formano dei raggi, deviati da una calamita nel senso stesso dei raggi-canali, ma non lievemente, come accade di questi ultimi in causa della massa relativamente grande delle particelle positive che li costituiscono, ma bensì in modo tanto considerevole come se si trattasse di raggi catodici.

Quei raggi sembrano comportarsi dunque precisamente come raggi di elettroni positivi.

Con molta acutezza J. Becquerel ha discusso le varie maniere, nelle quali un simile fenomeno può essere interpretato, tanto che sembra si possa escludere, non solo che si tratti di raggi catodici dotati d'un moto contrario a quello attribuito ai supposti raggi d'elettroni positivi, ma anche che si abbia a fare con raggi di ioni positivi molto deviabili, perchè dipendenti da raggi catodici, e dalle deviazioni da questi subìte. Tuttavia sembra necessario, che si riesca ad ottenere dei raggi di elettroni positivi in condizioni sperimentali assai più semplici e meglio definite, con completa esclu-

Digitized by Google

sione delle molteplici perturbazioni prodotte dalle cariche elettriche delle pareti del tubo, non che a produrre la loro deviazione per opera d'un campo elettrico oltre che di quello magnetico, prima che la loro esistenza possa considerarsi come dimostrata.

16. - Possibile esistenza di una nuova specie di materia radiante.

Mentre si conoscono intimamente i raggi d'elettroni negativi e i raggi di ioni positivi, e mentre è ancora incerta l'esistenza di raggi d'elettroni positivi, varie altre forme di radiazioni materiali si potrebbero concepire a priori, per esempio raggi d'atomi o molecole neutre, o raggi di ioni negativi.

È molto probabile che questi ultimi si producano di fronte al catodo nei gas ad alta pressione; anzi, come formanti raggi di questa specie possono considerarsi, per esempio, i ioni respinti da una punta negativa nell'aria a mediocre rarefazione, o quelli respinti, in questo stesso caso, da un metallo elettrizzato negativamente e colpito da opportune radiazioni. Quanto a raggi di particelle non elet-

Digitized by Google

trizzate se ne ha già un esempio nei raggi-canali, i quali, come si è visto, sembrano costituiti da atomi o gruppi atomici i quali, durante il loro movimento, sono ora elettrizzati ed ora allo stato naturale.

Una nuova specie di raggi, alla dimostrazione e allo studio dei quali è principalmente dedicato questo libro, si può prendere pure in considerazione. Si tratta in questo caso del movimento di particelle elettricamente neutre, ma costituite in un modo speciale, e che rappresentano una condizione temporanea intermedia fra quella dell'atomo neutro, e quella del ione positivo e dell'elettrone negativo fra loro completamente separati dopo la ionizzazione dell' atomo.

Come si è già notato, quando un elettrone negativo ed un ione positivo si trovano in presenza e non sono troppo vicini l' uno all'altro, la forza, che fra essi agisce, si può considerare semplicemente come l'attrazione elettrica reciproca fra l' elettrone ed il ione, il quale ultimo nel suo complesso si comporta come una carica positiva. Sotto certe condizioni di grandezza e direzione della loro velocità relativa essi formeranno un sistema in tutto analogo ad una stella doppia,

Digitized by Google

colla differenza, che non è la gravitazione, ma la forza elettrica, che mantiene il moto relativo delle due parti costituenti il sistema.

La considerazione di quanto può accadere, allorchè in un gas ionizzato avviene un incontro fra un elettrone ed un ione positivo, porta ad ammettere la possibilità della formazione di simili sistemi binari. Infatti nulla fa ritenere impossibile, che fra i due casi estremi, che vengono di solito considerati, quello cioè della formazione d'un atomo neutro per completa riunione dell'elettrone al ione, e quello nel quale le due particelle, dopo essersi avvicinate sino ad un certo punto, nuovamente si allontanano restando separate, esista un terzo caso intermedio, e cioè quello in cui l' elettrone ed il ione rimangano avvinti dalla loro attrazione elettrica a formare il sistema binario descritto, nel quale la distanza reciproca dei due costituenti resta sempre abbastanza grande, in rapporto alle dimensioni atomiche, perchè il ione agisca sensibilmente come un centro elettrizzato positivamente.

Del pari mi sembra che non possa negarsi la possibilità della formazione di una simile coppia neutra nella collisione fra atomi, molecole o ioni.

Digitized by Google

D' ordinario si ammette, che in seguito ad uno di questi urti un atomo neutro o resti tale, o si ionizzi, cioè da esso si separi un elettrone; ma fra questi casi estremi sembra doversene considerare un altro, quello cioè che l' elettrone, pur cessando di far parte della compagine dell' atomo, rimanga a gravitare intorno a ciò che resta dell' atomo stesso, cioè intorno al ione positivo. In altre parole, la formazione del sistema ione-elettrone costituirebbe in questo caso una specie di ionizzazione incompleta dell' atomo. Come si è accennato di volo alla pag. 57, J. J. Thomson, verosimilmente senza avere avuto notizia delle mie prime pubblicazioni sui raggi magnetici, ha ricorso utilmente al concetto delle coppie giranti [1].

In virtù della circostanza che la massa (reale o apparente che sia) dell'elettrone è piccolissima in confronto di quella del ione positivo, sarà lecito ammettere, a scopo di semplificazione, che l'elettrone giri intorno al ione come una cometa od un pianeta intorno al sole, o come un satellite intorno al suo pianeta.

---

(1) *Proc. of the Cambridge Phil. Soc.*, v. XIV, parte V. pag. 545.

Digitized by Google

Mentre non si può negare la possibilità della formazione di simili coppie neutre ruotanti, bisogna però riconoscere, che la loro stabilità deve essere assai piccola. Quando avverrà una collisione di uno di tali sistemi con un ione o un atomo ecc. o in generale con un'altra particella elettrizzata o neutra, facilmente accadrà, che il moto dell'elettrone rimanga perturbato in modo, che esso si allontani dal ione sino a sottrarsi all'attrazione di questo. Anzi sembra evidente, che la separazione dell'elettrone dal ione debba in tal caso avvenire di gran lunga più agevolmente che non quella di un elettrone da un atomo neutro. D'altra parte potrà accadere altresì, che la perturbazione sia di tal fatta da avvicinare l'elettrone al ione, in modo che su quello si facciano sentire individualmente le forze provenienti dai singoli elettroni e dai centri positivi (elettroni positivi, o sfera omogenea positiva, secondo le due diverse ipotesi oggi emesse) costituenti il ione positivo, e infine da far sì, che l'elettrone entri a far parte della struttura di questo, trasformandolo in atomo neutro. La stabilità risulterà dunque massima per un certo valore della media distanza fra elettrone e ione.

Digitized by Google

17. - Stabilità delle coppie giranti ione-elettrone.

Poichè un elettrone che si muova lungo una orbita chiusa deve mostrare sino ad un certo punto le proprietà di una corrente chiusa o di un elemento magnetico, sorge spontaneamente l'idea di esaminare in qual modo debbano comportarsi gli ipotetici sistemi giranti, allorchè essi sono esposti all'azione di un campo magnetico.

Disgraziatamente non sembra possibile uno studio analitico completo del moto, che assume in un campo magnetico il sistema girante elettrone-ione positivo, sia nel suo complesso, sia per ciascuna delle due parti che lo compongono, e tanto meno un apprezzamento concreto della sua stabilità, ossia della attitudine a resistere senza scomporsi alle perturbazioni provenienti da altre particelle. Perciò sarebbe vana pretesa il voler dimostrare in modo rigoroso quanto si può asserire per semplice intuizione, e cioè che il campo magnetico possa prolungare la probabile durata di quelle coppie. Bisogna dunque contentarsi di considerazioni generiche od incomplete.

Digitized by Google

Si supponga per semplicità, che l'elettrone si muova circolarmente intorno al ione in un piano sensibilmente normale alla direzione del campo magnetico. Questa orientazione è verosimilmente quella, per cui l'azione esercitata dal campo è la più marcata. In tali condizioni prende origine una

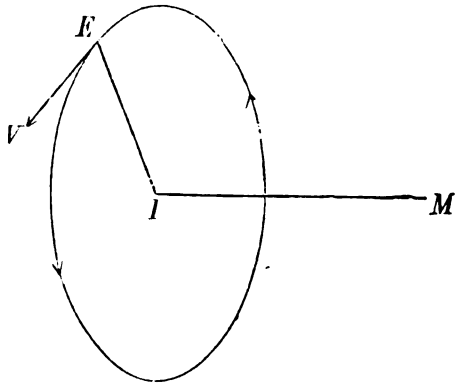

Figura 3.

forza elettromagnetica applicata all'elettrone *E* (*fig. 3*), la cui direzione giace sulla retta *EI*, che lo congiunge al ione positivo *I*. Tale forza, infatti, deve essere perpendicolare in pari tempo alla direzione *IM* del campo e alla velocità *EV* dell'elettrone. Essa agirà poi da *E* verso *I* o in senso contrario a seconda della direzione del campo e dal senso di rivoluzione dell'elettrone. Nel primo

Digitized by Google

caso, che si verifica allorchè l'elettrone gira nel senso stesso della corrente elettrica alla quale si può imaginare dovuto il campo magnetico, la stabilità del sistema risulterà aumentata, nel secondo caso invece diminuita. Ed in vero, a parità di raggio della traiettoria dell' elettrone (per esempio, ammesso che abbia un valore prossimo a quello pel quale la stabilità è massima), la velocità che possiede l'elettrone stesso è nel primo caso più grande, nel secondo caso più piccola, di quella che avrebbe in assenza del campo (Veggasi l'appendice *A*), e l'elettrone sarà, nel primo caso meno facilmente, e nel secondo, invece, più agevolmente, deviato dal suo cammino.

Si può dare al ragionamento una maggiore generalità, ammettendo che l'elettrone, prima che cominci ad agire il campo magnetico, percorra intorno al ione un'orbita elittica, sotto l'azione della reciproca attrazione elettrica, come un pianeta intorno al sole. Non appena il campo viene creato, la traiettoria dell'elettrone cessa di essere una elisse (Veggasi appendice *A*), ed è tale, se il senso di rivoluzione dell'elettrone è quello definito più sopra, che risultano ridotte minori, di quel che erano per

Digitized by Google

la traiettoria elittica, tanto il valore massimo quanto il valore minimo della distanza fra elettrone e ione durante il movimento. Ora, dall' essere reso minore il massimo allontanamento dell' elettrone dal ione risulta diminuita la probabilità di distruzione della coppia per separazione dell' elettrone dal ione.

D' altra parte però la diminuzione della minima distanza ha per conseguenza di rendere più facile la distruzione del sistema girante per formazione dell' atomo neutro. Ma il primo effetto ordinariamente predomina, mentre il secondo è reso tanto più probabile quanto più intenso è il campo magnetico. La teoria fa dunque prevedere un fatto, che prima non fu mai constatato, ma che le mie esperienze confermano, quello cioè dello sparire dei raggi magnetici allorchè l' intensità del campo magnetico supera una certa grandezza.

L' effetto del campo si manifesterà in un senso o nell' altro, anche quando l' orbita dell' elettrone ha qualsiasi altra orientazione; ma si potrà ritenere, che in un campo magnetico abbiano una certa persistenza soltanto quei sistemi giranti i cui elettroni girano in un certo senso, e nei quali il piano

Digitized by Google

della traiettoria primitiva dell' elettrone, se non è normale al campo, di poco si allontana dal soddisfare a tale condizione.

Quando le scariche in un gas rarefatto subiscono l'azione d'un campo magnetico, trovansi riunite le condizioni favorevoli alla formazione ed alla persistenza delle coppie ruotanti ione positivo-elettrone negativo. Per esempio, potranno facilmente formarsi tali coppie per riunione di elettroni dei raggi catodici con ioni positivi dei raggi positivi retrogradi. Esse seguiteranno a muoversi allontanandosi dal catodo e costituiranno allora la nuova specie di raggi i quali, sia perchè si manifestano nel campo magnetico, sia per un' altra ragione esposta più oltre, possono chiamarsi *raggi magnetici.*

In questo nuovo esempio di materia radiante ciò che si muove non è dunque nè uno sciame di semplici elettroni, nè uno di ioni, ma un certo numero di piccole stelle doppie, ossia di sistemi costituiti da un ione positivo intorno a cui gira come satellite un elettrone negativo. In tutti questi sistemi gli elettroni hanno un moto di rivoluzione di egual senso, che è quello pel quale il

Digitized by Google

campo magnetico conferisce ad essi una relativa stabilità. È poi facile riconoscere con elementari considerazioni, che il campo magnetico, che è prodotto dagli elettroni giranti, è di direzione opposta a quella del campo che contribuisce alla stabilità delle coppie, e che queste perciò sono spinte verso le regioni ove la forza magnetica ha la minima intensità.

Per dimostrarlo è giuocoforza limitarsi ancora al caso d' un elettrone, la cui orbita sia circolare e giacente in un piano perpendicolare alla direzione del campo; le asserzioni a cui giungeremo, esatte in questo caso, potranno considerarsi come approssimate per tutti i sistemi resi relativamente stabili dal campo magnetico.

Si supponga che il sistema *EI* (*fig. 3*) sia animato da un moto di traslazione diretto secondo *IM*. È chiaro che questo moto non viene menomamente modificato dal campo magnetico, che si è supposto uniforme; ma non è più così se il campo non è tale. Si supponga, per esempio, che il sistema elettrone-ione si trovi nel campo magnetico dovuto al polo *M* (*fig. 4*), situato sull' asse *IM* della circonferenza percorsa dell' elettrone *E* intorno al ione positivo *I*.

Digitized by Google

La forza elettromagnetica agente sull' elettrone, dovendo essere sempre perpendicolare al piano *MEV* formato dalla direzione *EM* del campo in *E* e da quella della velocità *EV* dell' elettrone, non

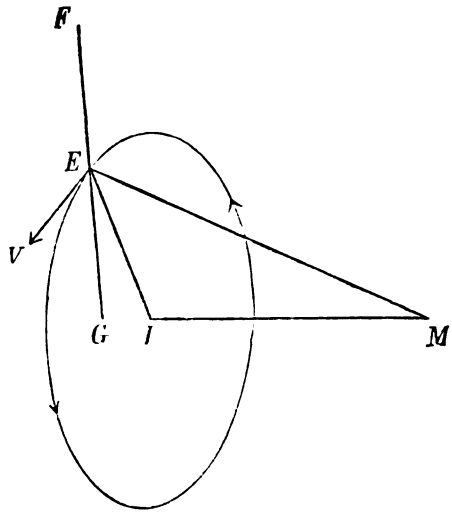

Figura 4.

sarà più diretta secondo *EI*, come quando il campo era uniforme, ma bensì secondo una retta *FEG* giacente nel piano *MEI* e perpendicolare ad *EM*. Se il senso di girazione di *E* è tale, che il campo magnetico conferisca stabilità al sistema, la forza elettromagnetica agirà nel senso da *E* verso *G*, ed

Digitized by Google

avrà quindi una componente parallela ad *MI*, per effetto della quale l'elettrone tenderà ad allontanarsi al polo *M*.

Ciò induce a ritenere, che il sistema girante sia respinto dal polo magnetico, e cioè tenda a portarsi ove il campo ha la minima intensità, come se fosse un corpo diamagnetico, o anche come se la traiettoria percorsa dall'elettrone venisse sostituita da un conduttore di egual forma, e questo fosse percorso dalla corrente indotta generata dalla creazione del campo magnetico. Si giunge alla stessa conclusione considerando l'azione elettromagnetica subìta dalla corrente chiusa, alla quale si può assimilare l'elettrone girante.

A chi formulasse la facile obiezione, che la velocità impressa dal campo magnetico al sistema girante deve essere estremamente piccola, perchè necessariamente è piccolissimo l'angolo *EMI*, si potrebbe rispondere, che tale è pure il caso quando si consideri la ripulsione prodotta da un polo magnetico sulle correnti elettriche atomiche cui si deve la proprietà diamagnetica del bismuto e di molte altre sostanze, e che il ragionamento precedente, per sè stesso incompleto, è destinato soltanto

Digitized by Google

a definire la direzione della forza agente sulle coppie giranti.

Queste si spostano dunque verso le regioni ove il campo magnetico (che supponiamo non uniforme) ha il minimo valore; se già si muovevano in questo senso, la loro velocità andrà crescendo; e se si muovevano in senso opposto, la velocità loro diminuirà continuamente sino ad annullarsi e poi cambiare di segno. Mentre posseggono il moto accelerato, che li allontana dal polo magnetico (se il campo ha tale causa), o in generale li dirige verso i luoghi di minima intensità, l'effetto del campo in quanto a conferire a tali sistemi una certa stabilità diverrà naturalmente via via minore, sicchè essi finiranno col non più manifestarsi in causa delle collisioni a cui sono esposti, presumibilmente prima di giungere ove il campo magnetico è nullo. Naturalmente il percorso lungo il quale essi appariscono sarà tanto più lungo, quanto maggiore è l'intensità del campo magnetico.

Anche il campo elettrico influisce sulla stabilità delle coppie ione-elettrone, e una breve riflessione farà facilmente comprendere, che nei vari istanti e a seconda delle circostanze, una forza elettrica può

Digitized by Google

tendere o a distruggere il sistema o a conservarlo. Però nelle circostanze più frequenti un campo elettrico tende a distruggerlo. Se, come nella maggior parte dei casi, la forza elettrica è diretta parallelamente alla forza magnetica, essa tende evidentemente a spostare in sensi opposti tanto l'elettrone quanto il ione dal piano sensibilmente normale al campo magnetico, in cui si muovono, se si trovano nelle condizioni di massima stabilità; donde una più facile distruzione del sistema girante.

Poichè un campo magnetico conferisce una maggior durata a certune delle coppie giranti, che altrimenti avrebbero una effimera esistenza, per metterle in evidenza occorre far agire sopra un gas ionizzato il campo magnetico. Quel gas dovrà essere alquanto rarefatto, affinchè le collisioni non siano così frequenti, che le coppie restino distrutte non appena formate.

Le scariche nei gas rarefatti, e sotto l'azione d'un campo magnetico, sono quindi naturalmente indicate come il miglior mezzo di ottenere i raggi magnetici. Allo studio di questi deve dunque necessariamente precedere una revisione delle numerose

Digitized by Google

ricerche compiute dai fisici sulle scariche, che si producono sotto l'influenza del magnetismo.

Infine occorre notare, che, non solo il campo magnetico conferisce una maggior durata a certe coppie giranti ione-elettrone, ma favorisce altresì la loro formazione.

Supponendo ancora uniforme il campo magnetico che agisce su un gas rarefatto attraversato da scariche, i raggi catodici assumono la forma di circonferenze o di eliche aventi il loro asse parallelo al campo, e gli elettroni percorrono tali loro traiettorie circolando attorno l'asse stesso precisamente nel senso dovuto perchè, venendo attratti da ioni positivi, formino le coppie giranti più stabili. In altre parole, un elettrone, anche prima di divenire satellite d'un ione, possiede già un moto curvilineo, che lo fa girare nel senso richiesto affinchè la coppia che sta per formarsi sia di quelle, alle quali il campo conferisce una certa stabilità. Tali coppie si formeranno quindi più facilmente, che in assenza del campo magnetico.

Non è detto poi che i ioni positivi, attorno ai quali un elettrone circola come satellite, debba

Digitized by Google

essere necessariamente un ione del gas. È anzi verosimile che possano formarsi coppie costituite da un elettrone e da un ione positivo metallico, liberatosi per disaggregazione del catodo. Delle particelle metalliche sono infatti lanciate dal catodo, e possono essere raccolte, come è noto, su un vetro, che si trasforma così in uno specchio; e il Birckeland, nel corso di esperienze che saranno citate più avanti, ebbe a riconoscere, che il campo magnetico rende più rapida la disaggregazione del catodo.

Digitized by Google

PARTE SECONDA

I RAGGI MAGNETICI

Digitized by Google

Digitized by Google

Capitolo V.

LE SCARICHE NEL CAMPO MAGNETICO

18. - **Antiche esperienze.**

Fra le più antiche esperienze relative a scariche nel campo magnetico hanno speciale interesse quelle di Plücker [1]. Un tubo di scarica a gas rarefatto, generalmente sferico o periforme e munito naturalmente di due elettrodi, era percorso dalle scariche d'un rocchetto d'induzione, mentre si trovava presso i poli di una elettrocalamita. Quando questa entrava in azione, la luce negativa del secondo strato o bagliore, che, stante la moderata rarefazione, appariva in contatto o quasi col catodo, assumeva una forma speciale, come si vede nelle fig. 5 e 6, e precisamente si estendeva sino ad una superficie *cbd*, volgente la sua concavità verso l'asse del campo magnetico, ossia verso la retta congiungente i poli *N* ed *S* dell'elettrocalamita.

(1) *Pogg. Ann.*, v. 103, p. 88, 151 (1858).

Digitized by Google

Spostando il tubo di scarica rispetto al campo, quella superficie mutava forma, però in modo tale da mostrare, almeno in modo approssimativo, che la luce negativa occupava precisamente lo spazio contenente le linee di forza magnetiche passanti pel catodo.

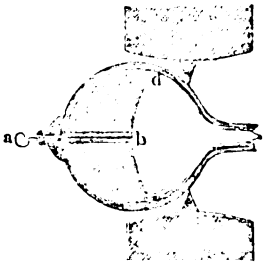

Figura 5.

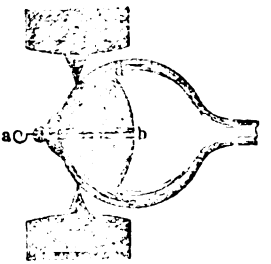

Figura 6.

In pari tempo rimaneva profondamente modificato anche l'aspetto della colonna positiva; ma di questa non abbiamo qui bisogno d'occuparci.

Ponendo l'uno di fianco all'altro, come nella fig. 7, i due rocchetti formanti l'elettrocalamita, in modo che le linee di forza formino come tante arcate al disopra dei poli, appare anche meglio distinto il fatto descritto, e cioè la forma speciale assunta dalla luce catodica.

Digitized by Google

Undici anni più tardi Hittorf [1] riprendeva lo studio iniziato dal suo maestro impiegando tubi, ora cilindrici e lunghi 30 o 40 centimetri con 4,5 a 6 di diametro, ora sferici e del diametro di 6 a 10 centimetri, nei quali il più delle volte il catodo aveva una forma speciale, e precisamente quella

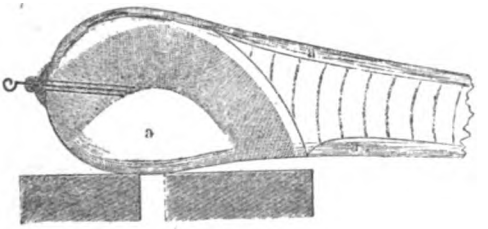

Figura 7.

di filo metallico di 1,5 a 3 millimetri di diametro ad estremità piana e circondato da un tubo di vetro. La rarefazione nei tubi di Hittorf era sufficiente, perchè i raggi catodici, formanti un fascio sottile partente dalla faccia terminale del catodo, avessero una certa lunghezza. In pari tempo però la rarefazione non era spinta all'estremo, come al

[1] *Pogg. Ann.*, v. 136, p. 213 (1869).

Digitized by Google

giorno d'oggi può facilmente realizzarsi, e perciò i raggi catodici, rendendo luminoso il gas sul loro cammino, erano visibili in buona parte della loro lunghezza.

Esponendo uno di quei tubi, mentre in esso passava la scarica, all'azione d'un forte campo magnetico prodotto da una elettrocalamita, il filetto luminoso catodico assumeva forme svariate, a seconda della posizione relativa del catodo e dell'elettrocalamita. Tali forme sono quelle che si possono prevedere ammettendo, che i raggi catodici siano le traiettorie di particelle negative (oggi diciamo elettroni) partenti dal catodo con velocità diretta normalmente alla superficie di questo.

La traiettoria d'un elettrone nel campo magnetico, ossia la forma di un raggio catodico, si può determinare a priori nel caso in cui il campo sia uniforme, e si arriva a questo risultato, e cioè che essa è un'elica cilindrica coll'asse parallelo alla direzione del campo, il cui passo è proporzionale alla componente, secondo la direzione del campo, della velocità iniziale, mentre il raggio del cilindro su cui giace è proporzionale alla componente di detta velocità presa normalmente al campo.

Digitized by Google

UNIV. OF CALIFORNIA

Inoltre, tanto il passo che il raggio sono inversamente proporzionali all'intensità del campo magnetico. L'elica si riduce quindi ad un cerchio quando la normale al catodo è perpendicolare al campo, e ad una retta (ossia il raggio catodico non muta forma) quando la superficie del catodo è normale al campo. (Veggasi l'appendice *B*).

Per un campo magnetico non uniforme la traiettoria d'un elettrone non si è potuta calcolare che in due casi, quello in cui il campo è dovuto ad un unico polo magnetico, e quello in cui è prodotto da una corrente rettilinea indefinita; ma s'intuisce facilmente, e l'esperienza conferma, che il raggio catodico assume una forma somigliante a quella di un'elica, e precisamente quella d'una curva che si avvolge, non più attorno ad una retta, ma attorno ad una linea che poco differisce da una linea di forza magnetica.

Sono questi raggi catodici di forme somiglianti più o meno ad un'elica che Hittorf osservò nelle sue esperienze. Egli ne espresse il risultato dicendo, che mentre la colonna positiva in un tubo da scarica si comporta in un campo magnetico come una corrente flessibile ed avente le sue estremità fisse,

Digitized by Google

la luce negativa invece si deforma come una corrente flessibile, fissata al catodo con uno dei suoi estremi, e perfettamente libera all'altra estremità.

La fig. 8, tratta dalla Memoria di Hittorf, mostra appunto il fascio catodico in forma press'a poco di elica conica, producentesi sotto l'influsso di un

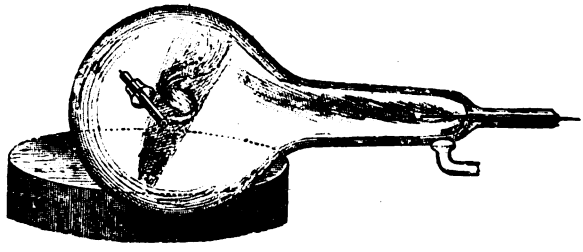

Figura 8.

largo polo magnetico *N*. Nella fig. 9 si ha invece il caso dei raggi catodici aventi forma circolare, che si verifica quando la direzione iniziale dei raggi catodici è perpendicolare a quella del campo magnetico, e questo può considerarsi come uniforme. Nella fig. 10 si vede di nuovo un fascio catodico press'a poco elicoidale, ma con particolarità su cui fermeremo fra poco l'attenzione.

Digitized by Google

Fin qui i fenomeni osservati sembrano non avere nulla di comune con quelli di Plücker, e mentre non si vede immediatamente come questi possano spiegarsi, quelli di Hittorf invece sono pienamente conformi a quanto si sa intorno alla natura dei raggi catodici.

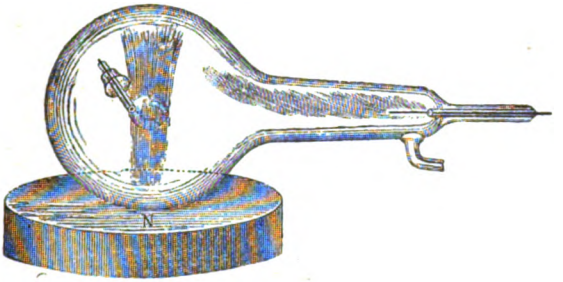

Figura 9.

Ma insieme a questi fenomeni Hittorf osservò egli pure (come appare dalle fig. 8, 9 e 10) il fascio di luce distribuita secondo un tubo di forza magnetica, già descritto dal Plücker. Se non che questo si mostrava con tal forma da comprendere, non solo le linee di forza passanti pel catodo, ma quelle ancora passanti per ogni punto del fascio catodico. La luce di Plücker veniva così a rendere visibile

Digitized by Google

(ammesso uniforme il campo magnetico) la superficie di quel cilindro, su cui giace l'elica catodica.

La fig. 11, analoga alla 8, ma che è la riproduzione di una negativa fotografica fatta da Villard, mostra con maggiore autenticità di quella che può avere un disegno, il fascio elicoidale catodico ed il cilindro luminoso sul quale l'elica giace. La fig. 12, dovuta essa pure al medesimo fisico, mostra il caso della precedente fig. 9.

In altre esperienze nelle quali, sia per la minor rarefazione che per la forma speciale del catodo, i veri raggi catodici non erano visibili, Hittorf notò, insieme al fenomeno di Plücker, uno spostamento della luce negativa sulla superficie del catodo, prodotto dal campo magnetico. Così, con un catodo cilindrico disposto trasversalmente al campo magnetico, egli vide sparire o impallidire la luce nei luoghi, ove la normale alla superficie del catodo era perpendicolare o quasi alla direzione del campo magnetico.

La fig. 10 mostra poi una particolarità degna di nota. Entro il tubo di scarica, che era in questo caso cilindrico e col catodo a sinistra, oltre al fascio catodico elicoidale, e alla luce ad esso

Digitized by Google

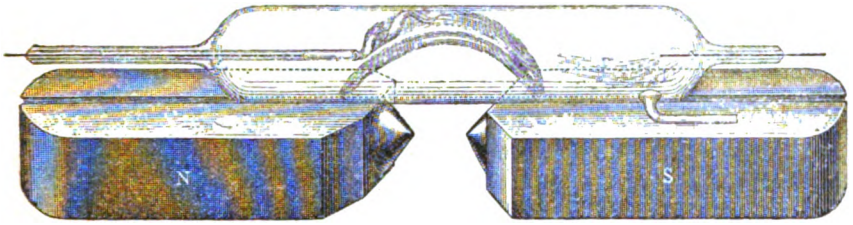

Figura 10.

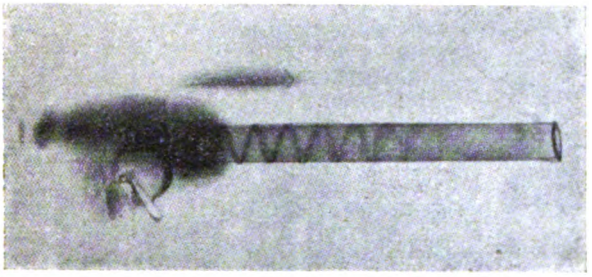

Figura 11.

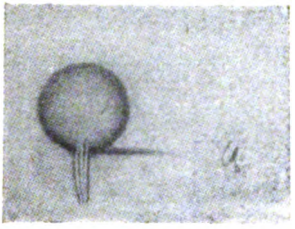

Figura 12.

Digitized by Google

circoscritta, la quale, curvandosi secondo le linee di forza, si dirige verso il polo *S*, si vede un secondo fascio di luce, anch'esso incurvato press'a poco secondo le linee di forza, che parte dal punto in cui la parete del tubo è colpita dall'altro fascio, e si dirige incurvandosi verso il polo *N*, rimanendo però al disotto del fascio di luce contenente i raggi catodici. Si direbbe che il primo fascio si riflette sul vetro e ritorna verso il catodo seguendo ancora approssimativamente le linee di forza magnetica.

Di questa particolarità, che è passata sotto silenzio dai tanti autori che hanno riferito le esperienze di Hittorf riportando spesso anche la fig. 10, ci occuperemo più avanti.

19. - Spiegazione dei fenomeni luminosi di Plücker e Hittorf.

Per spiegare la speciale conformazione che assume la luce catodica nelle esperienze di Plücker, si ricorre generalmente anche oggi alle seguenti considerazioni. I raggi catodici partenti dal catodo assumono nel campo magnetico delle forme elicoi-

Digitized by Google

dali, e cioè ognuno di essi diviene una curva, che si avvolge attorno ad una linea di forza magnetica, come un'elica intorno all'asse del cilindro su cui giace. Anzi, se il campo è uniforme quella curva è precisamente un'elica. Più il campo è intenso e più il raggio del cilindro diviene piccolo; per cui, se si ha un fascio catodico visibile e di sezione non estremamente piccola, accade che la forma elicoidale non si discerne più nettamente, ed il fascio sembra seguire esattamente o quasi una linea o un tubo di forza.

Nel caso poi delle esperienze di Hittorf, nelle quali la luce disposta secondo le linee di forza magnetica parte anche dai vari punti del fascio catodico, la spiegazione precedente vale ancora, se si tien conto del fatto, che ogni punto d'un fascio catodico è origine di raggi catodici *secondari*, precisamente come nascono raggi catodici secondari ove un corpo solido qualunque è colpito da raggi catodici. Nel caso attuale si generano raggi catodici secondari da ogni molecola gassosa posta sul cammino dei raggi catodici principali, per cui l'elica luminosa osservata da Hittorf si comporta in certo modo come un prolungamento del catodo.

Digitized by Google

In conclusione, il fascio luminoso avente forma di tubo di forza magnetica descritto da Plücker e da Hittorf, sarebbe realmente costituito da raggi catodici avvolti attorno alle linee di forza.

Alla spiegazione data pel fascio di luce, avente sensibilmente la forma di un tubo di forza magnetica, si può evidentemente ricorrere per render conto di alcuni fatti osservati da Birkeland [1]. In una delle esperienze di questo fisico un fascio parallelo di raggi catodici era esposto all'azione di un'elettrocalamita, il cui asse coincideva con quello del fascio. Questo diveniva divergente o convergente quando si eccitava l'elettrocalamita, secondo che i raggi catodici si propagavano avvicinandosi al polo di questa oppure allontanandosene. In un'altra esperienza il noto tubo a croce di Crookes, nel quale però contrariamente all'uso la croce funzionava da catodo, era posto presso una elettrocalamita, l'asse della quale era perpendicolare al piano della croce e passava pel centro di questa. Eccitata la elettrocalamita si vedevano due imagini fluorescenti della croce sul vetro, una dovuta a

(1) *Arch. d. Sc. Phys. et Nat. de Genève*, juin, 1896.

Digitized by Google

raggi divenuti convergenti e propagantisi verso il polo, e l'altra dovuta a raggi divergenti propagantisi in senso contrario.

Queste esperienze di Birkeland diedero occasione al Poincaré [1] di determinare la traiettoria di un elettrone nel campo magnetico dovuto ad un unico polo, la quale trovò essere una linea geodetica d'un cono di rivoluzione avente per vertice il polo magnetico. Inoltre, come è facile riconoscere, la traiettoria è tale che, se all'istante in cui si crea il campo, l'angolo compreso fra la retta che va dall'elettrone al polo e la direzione della velocità dell'elettrone, è acuto, l'elettrone si avvicina dapprima al polo sino ad una minima distanza, e poi se ne allontana indefinitamente. Durante l'avvicinamento il detto angolo cresce sino al valore di 90°; durante l'allontanamento l'angolo cresce ancora sino a 180°. Naturalmente, se quell'angolo è ottuso sino dal principio, non si ha avvicinamento dell'elettrone al polo.

Per quanto possa apparire soddisfacente la spiegazione data per i fasci di luce che seguono

[1] *Comp. Rend.* 5 octobre 1896, p. 530.

Digitized by Google

sensibilmente le linee di forza, le ricerche posteriori hanno portato molti fisici a considerarla insufficiente, ed a supporre, che nel campo magnetico si producano nuovi raggi di sconosciuta natura partenti dal catodo come i raggi catodici, ma dotati della proprietà specifica di seguire le linee di forza magnetica. Continuando nella rassegna delle ricerche relative alle scariche nel campo magnetico incontreremo appunto certi fatti, ai quali sembra male adattarsi quella spiegazione; ma vedremo altresì che i fisici, che intuirono l'esistenza di nuovi raggi, non giunsero a dimostrarne la realtà, e tanto meno a determinare la natura di essi.

Le ricerche sperimentali descritte nei seguenti capitoli tendono a colmare tali lacune e quindi a dimostrare, che esiste effettivamente una nuova specie di materia radiante, partente il più delle volte (ma non sempre, come si vedrà) dal catodo d'un tubo di scarica posto nel campo magnetico, che le particelle costituenti questa nuova radiazione si muovono approssimativamente lungo le linee di forza del campo magnetico, rendendo luminoso (come del resto fanno anche i raggi catodici) il gas posto sul loro cammino, e che

Digitized by Google

infine le particelle stesse non sono nè atomi o molecole, e neppure ioni o semplici elettroni, ma quei certi sistemi costituiti da un ione positivo e da un elettrone negativo, considerati già precedentemente.

Qualcuno di quei fisici, che supposero l'esistenza di nuovi raggi partenti dal catodo, designarono tali raggi ipotetici con speciali denominazioni. Essi saranno qui designati sempre col nome di *raggi magnetici*. L'aggettivo è giustificato, non solo dal fatto che alla loro esistenza il campo magnetico si mostra necessario, ma anche dalla somiglianza fra le coppie giranti in moto e le correnti chiuse molecolari o gli elementi magnetici. Anche il modo nel quale si comportano i nuovi raggi, quando si accosti ad essi il polo di una calamita, suggerisce quell'appellativo, in quanto che essi sembrano incurvarsi verso il polo o allontanarsi dal medesimo a seconda dei casi, come se fossero costituiti da fili di sostanza magnetica flessibilissimi o come eliche flessibilissime percorse da una corrente di direzione opportuna. Se per esempio *C* (*fig. 13*) è il catodo d'un tubo di scarica esposto all'azione d'un polo magnetico *N*, i raggi magnetici formano

Digitized by Google

un fascio di luce che sembra divergere da *N*; ma accostando lateralmente al tubo un polo *S* di nome contrario ad *N*, i raggi magnetici si curvano nel fascio *CA*. Questo fascio *CA* non ha esattamente, ma solo approssimativamente la forma di

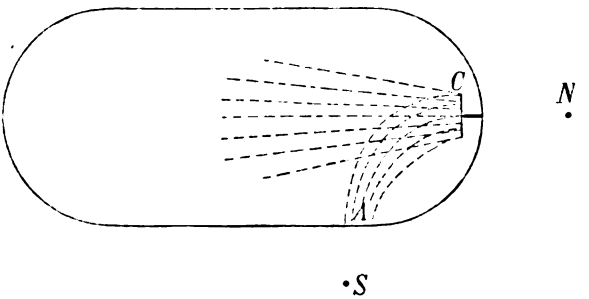

Figura 13.

un tubo di forza magnetica, come risulterà da esperienze esposte nel Capitolo VIII.

Tenendo conto esattamente della direzione delle forze elettromagnetiche in azione si riconosce tuttavia, che l'analogia di comportamento fra i raggi magnetici e le eliche flessibili non è sostanziale, giacchè, onde le dette eliche fossero attratte o respinte dal polo laterale precisamente quando sembrano attratti o respinti i raggi magnetici, la

Digitized by Google

corrente elettrica dovrebbe circolare nel senso stesso nel quale gli elettroni si muovono nella loro orbita, e per conseguenza in senso inverso a quello della corrente rappresentata dal moto orbitale degli elettroni medesimi.

Saranno descritte più avanti delle esperienze dimostranti chiaramente l'azione deviatrice delle calamite sui raggi magnetici, indicata schematicamente nella fig. 13; ma non bisogna credere che simili esperienze contraddicano alla teoria generalmente accettata, e secondo la quale la luce che si estende secondo le linee di forza magnetica è costituita semplicemente da raggi catodici strettamente avvolti attorno alle linee di forza medesime. Le ragioni in virtù delle quali si deve ammettere l'ipotesi dei raggi magnetici, e considerare la teoria generalmente accettata come insufficiente sono ben altre. Alcune di esse vennero messe avanti già dal Villard; altre più valide risulteranno dalle esperienze narrate nei seguenti capitoli.

Digitized by Google

20. - Esperienze recenti.

Sono numerosissime le ricerche fatte dai fisici relativamente alle scariche nel campo magnetico, dopo quelle di Plücker e di Hittorf descritte nel § 18. Quelle di Birkeland [1] meritano d'essere prese in ispeciale considerazione, perchè questo fisico è stato il primo, a quanto mi consta, che abbia sospettato l'esistenza di nuovi raggi, diversi dai catodici, emessi dal catodo allorchè il tubo di scarica è esposto all'azione del campo magnetico.

Un tubo di scarica cilindrico con elettrodi alle sue estremità era collocato sul prolungamento dell'asse d'un'elettrocalamita cilindrica, che poteva essergli più o meno avvicinata. Il catodo si trovava dalla parte dell'elettrocalamita. Diminuendo poco a poco la distanza fra quest'ultima ed il tubo si giungeva ad una certa distanza, che il Birkeland chiama *critica*, per la quale l'aspetto della scarica subiva un brusco cambiamento, accom-

(1) *Comp. Rend.* 21 février 1898, pag. 586.

Digitized by Google

pagnato da una notevole diminuzione del potenziale di scarica. Secondo l'Autore citato, i raggi catodici erano allora sostituiti da nuovi raggi manifestantisi per mezzo della luce da essi generata lungo le linee di forza magnetica, come nella esperienza di Plücker. Questo fascio luminoso sarebbe dunque dovuto, secondo il Birkeland, a nuovi raggi, diversi dai raggi catodici, e non già al fatto che questi assumano forme simili all'elica avvolgendosi intorno alle linee di forza magnetica.

È poi degno di speciale menzione la particolarità segnalata dal Birkeland e richiamata più sopra, e cioè che quando il campo è intensissimo, il catodo si disgrega rapidamente, cosicchè, anche se è d'alluminio, può ottenersi un deposito speculare opaco sopra una lastra di vetro posta davanti ad esso.

Quasi contemporaneamente un altro sperimentatore si esprimeva in modo poco differente, mostrandosi esso pure non soddisfatto dell'usuale spiegazione del fascio luminoso di Plücker. Il Broca [1] adoperando un apparecchio costituito da un pallone

[1] *Comp. Rend.*, 7 mars 1898, pag. 734.

Digitized by Google

di vetro, al centro del quale trovavasi un catodo sferico concentrico munito di un diaframma equatoriale di vetro, potè constatare che, facendo crescere gradatamente l'intensità di un campo magnetico parallelo al piano del diaframma, per un certo valore di detta intensità si presentava bruscamente sul catodo un getto luminoso diretto verso il polo attiguo della elettrocalamita. Secondo il Broca questo getto o fascio luminoso, che evidentemente non è altro che quello per la prima volta descritto dal Plücker, sarebbe costituito, non già dagli ordinari raggi catodici avvolgentisi attorno alle linee di forza magnetiche, ma da raggi nuovi, che egli indica col nome di raggi catodici di *seconda specie*, la proprietà caratteristica dei quali consisterebbe nel propagarsi secondo le linee di forza suddette.

Ad una analoga conclusione giunse più tardi il Villard [1]. A questo fisico si debbono delle interessanti ricerche aventi stretta attinenza con quelle delle quali si tratta principalmente in questo libro.

[1] *Comp. Rend.*, 6 juin 1904, pag. 1408; 19 mars 1906, pag. 706; 11 juin 1906, pag. 1330; 9 juillet 1906, pag. 146; 5 novembre 1906, pag. 675. *Le Radium*, avril 1906. *Bulletin de la Soc. Inter. des Electriciens*, février 1906.

Digitized by Google

Dopo una serie d'ingegnose esperienze destinate a mostrare le svariate forme assunte dai raggi catodici, allorchè si propagano in un campo magnetico, fu tratto a studiare il fascio luminoso sensibilmente diretto secondo le linee di forza magnetiche, e a constatare egli pure il brusco presentarsi di questo fascio, allorchè il campo raggiunge una sufficiente intensità. Egli pure fu tratto ad ammettere l'esistenza di nuovi raggi, pei quali adottò la denominazione di raggi *magneto-catodici*, onde esprimere le circostanze necessarie alla loro produzione.

Non interessa riferire qui quella parte delle ricerche del Villard, che riguarda una teoria dell'aurora polare, alla quale lo Störmer, che ha pubblicato un esteso e pregevole lavoro sullo stesso argomento [1], ha mosso qualche obiezione; ma è necessario considerare attentamente la parte relativa alla distinzione fra raggi catodici e raggi magneto-catodici.

In una esperienza del Villard delle laminette di mica erano collocate entro il tubo di scarica in tal

[1] *Arch. d. Sc. Phys. et Nat. de Genève*, juillet, août, septembre et octobre 1907.

Digitized by Google

maniera, da intercettare i raggi catodici a forma di elica; ma ad onta di ciò con campo magnetico abbastanza intenso il fascio magneto-catodico egualmente si formava. Si aveva un caso di questo genere per esempio quando, come in una delle citate esperienze di Hittorf, la direzione iniziale dei raggi catodici era prevalentemente perpendicolare alla direzione del campo, ed una lamina piana di mica era collocata parallelamente al campo giungendo sin quasi presso il catodo. Essendo la superficie di questo ridotta piccolissima con un opportuno diaframma forato, la maggior parte dei raggi catodici formava un sottile filetto luminoso, che sotto l'azione del campo assumeva la forma circolare (*fig. 12*): quelli di direzione non esattamente trasversale al campo magnetico dovevano assumere la forma di eliche (*fig. 11*), ma erano intercettati dopo un breve cammino dalla lamina di mica. Con campo abbastanza intenso si otteneva nondimeno il fascio luminoso cilindrico come nelle analoghe esperienze di Hittorf (*fig. 8 e 9*).

In un'altra esperienza, a poca distanza dal catodo era collocata una lamina di mica munita di un piccolo foro e disposta perpendicolarmente al

Digitized by Google

campo. Quando questo raggiungeva una sufficiente intensità appariva un fascio magneto-catodico partente dal foro e diretto secondo le linee di forza, mentre il catodo era in tal modo collocato, che raggi catodici non potevano verosimilmente attraversare quel foro.

Però, come in una esperienza che sarà descritta in uno dei seguenti capitoli, è a ritenersi, che dei raggi catodici, che poi il campo magnetico trasforma in raggi magneto-catodici, prendessero origine dal foro, ciò che appunto sempre accade allorchè un tubo di scarica è diviso in due per mezzo di un diaframma forato.

Coll' ultima disposizione descritta il Villard potè esaminare qual effetto produceva sui raggi magneto-catodici un campo elettrico trasversale. Bastò a questo scopo collocare entro il tubo due conduttori piani oppostamente elettrizzati, paralleli fra loro e al fascio magneto-catodico. Tali conduttori erano in tela metallica, affinchè non impedissero la vista del fascio luminoso. In tali condizioni si osservò una deviazione del fascio in un piano parallelo ai due conduttori. Esso si comporta dunque in un modo, che somiglia a quello dei raggi catodici in un campo magnetico.

Digitized by Google

Fra i due casi v' è però una sostanziale differenza, la quale non permette di fermare a lungo la mente sopra la possibile esistenza di una nuova azione analoga e in certo modo reciproca a quella ben nota espressa dalla legge di Laplace. Infatti, mentre un raggio catodico nel campo magnetico uniforme assume la forma d' arco di cerchio, il fascio magneto-catodico nell' esperienza di Villard non fa che mutare bruscamente la sua direzione, rimanendo rettilineo.

Del resto, questo comportamento, a prima vista assai singolare, del fascio magneto-catodico, non può essere invocato come obbiezione contro l'opinione generalmente accettata finora, secondo la quale quel fascio è semplicemente costituito dagli ordinari raggi catodici avvolgentisi attorno a linee di forza magnetica, come si è spiegato più sopra. Infatti C. Fortin ha dimostrato (1) che, se sopra un raggio catodico agisce un campo magnetico uniforme, che lo obbliga ad assumere la forma di elica cilindrica, quando al detto campo magnetico si aggiunge un campo elettrico uniforme di direzione perpendicolare a quella del primo, l' asse

(1) *Comp. Rend*, 20 juin 1904, pag. 1594.

Digitized by Google

del cilindro si inclina d' un certo angolo, spostandosi in un piano perpendicolare alla forza elettrica (Veggasi l'appendice *C*). Ora se, per le ragioni già dette altrove, l' elica si confonde col cilindro su cui giace, il risultato dell' esperienza di Villard rimane senz' altro con ciò spiegato.

Una particolarità rilevata dal Villard nel corso delle sue ricerche ha un' importanza speciale, ed è che i raggi magneto-catodici, i quali cessano bruscamente d' essere visibili e forse anche di esistere ad una certa distanza dal catodo, da cui partono, si allungano di più in più quando si seguita ad accrescere l' intensità del campo magnetico (non però indefinitamente, come si vedrà più avanti). Ciò prova, adoperando l'espressione del Villard, che il campo magnetico *è motore* pei raggi medesimi, e ciò ha importanza in relazione alla teoria da me proposta. Si è visto infatti che, in un campo magnetico non uniforme, le coppie rotanti elettrone-ione positivo sono spinte verso la regione ove il campo ha la minima intensità, e così sono come respinte dal catodo, se presso di questo, come nella maggior parte dei casi, è posto il polo magnetico generatore del campo.

Ecco infine un' ultima esperienza del Villard,

Digitized by Google

tendente essa pure a dimostrare, che esistono davvero raggi di natura diversa da quella dei raggi catodici. Essa consiste nel ricevere un fascio di raggi magneto-catodici in un conduttore comunicante con un elettrometro, e circondato da un altro conduttore, che è in comunicazione col suolo, (il così detto cilindro di Faraday), come nella nota esperienza dimostrante la carica negativa trasportata dai raggi catodici. Villard avrebbe dedotto da esperienze cosiffatte, che i raggi magneto-catodici sono privi di carica elettrica; se non che lo stesso fisico ha poi riconosciuto, che la conduttività del gas contenuto nel tubo di scarica, il quale gas per queste esperienze non deve essere troppo rarefatto, rende il risultato di tali esperienze per lo meno assai dubbioso.

Mentre adunque si deve al Villard l'avere risolutamente affermata l'esistenza di nuove radiazioni differenti dalla radiazione catodica, l'affermazione stessa non risulta appoggiata su prove abbastanza sicure.

Anche il Pellat [1] nel corso di una lunga serie

[1] *Comp. Rend.*, 10 février 1902, pag. 352; 24 mars 1902, pag. 697; 25 mai 1902, pag. 1046; 29 décembre 1902, pag. 1321; 22 février 1904, pag. 476; 20 juin 1904, pag. 1593.

Digitized by Google

di esperienze relative all'azione prodotta da un campo magnetico sulla scarica nei gas rarefatti, benchè abbia tentato di spiegare i fenomeni osservati colla così detta *magneto-frizione*, è stato condotto a supporre l'esistenza di due diverse specie di raggi catodici, che distingue colle denominazioni di flusso *A* e flusso *B*.

Da quanto si è esposto in questo paragrafo risulta confermato, come da più parti siano sorti gravi dubbi sulla possibilità di spiegare tutti i fenomeni osservati mediante la semplice considerazione dei raggi catodici e dei loro cambiamenti di forma, e come si sia intuita l'esistenza di una radiazione nuova; ma nessun accenno, per quanto è a mia conoscenza, è stato fatto intorno alla natura e costituzione dei nuovi raggi supposti.

21. - Altri effetti prodotti sulle scariche dal campo magnetico.

Insieme ai fenomeni visibili, di cui si è fin qui parlato, un campo magnetico produce altri effetti sulla scarica, e cioè fa variare la differenza di potenziale agli elettrodi e l'intensità della corrente.

Digitized by Google

Questi effetti sono strettamente connessi alla produzione dei raggi magnetici. Il Villard, per esempio, riconobbe, che il potenziale di scarica diminuiva bruscamente, nel momento in cui i raggi magnetocatodici cominciavano a manifestarsi, mentre, come sarà detto più avanti, nel corso delle sue ricerche l'A. di questo scritto ha in molti casi osservato una variazione in senso opposto.

Ciò non deve troppo sorprendere, in quanto che basta scorrere l'estesissima letteratura relativa a questo soggetto per constatare, che, a seconda delle condizioni sperimentali, il campo magnetico può far aumentare o diminuire il potenziale di scarica, e far variare in un senso o nell'altro l'intensità media della corrente che attraversa il gas.

Non occorre citare qui la lunga serie di memorie pubblicate nei due ultimi decennii su questa questione, tanto più perchè non sarebbe facile trovar la ragione di certe discrepanze, che si riscontrano fra i risultati dei vari sperimentatori. Trovo tuttavia utile richiamarne qualcuna.

Secondo Witz [1] quando il campo magnetico

[1] *Comp. Rend.*, 12 mai 1890, pag. 1002.

Digitized by Google

è trasversale, e cioè la scarica è diretta perpendicolarmente alla forza magnetica, la differenza di potenziale agli elettrodi è aumentata dal campo magnetico.

Paalzow e Neesen (1) ebbero un risultato analogo; ma quando il campo era longitudinale, essi osservarono ora aumenti ora diminuzioni del potenziale di scarica, a seconda della pressione del gas attraversato dalla scarica. I risultati, almeno quando il catodo era abbastanza fuori dall' influenza del campo magnetico, possono enunciarsi dicendo, che il campo agisce come un aumento di pressione nel gas. Ma quando il campo magnetico aveva la sua massima intensità presso il catodo, e quest' intensità si faceva crescere gradatamente, gli effetti finivano coll' invertirsi.

Il Birkeland nel corso di esperienze già citate più sopra (2) riconobbe, come già si è detto, che quando sopra un tubo di scarica agisce un campo magnetico longitudinale di cui l' intensità va crescendo, si nota a partire dall' intensità critica una

(1) *Wied. Ann.*, v. 63, pag. 209 (1897).
(2) *Comp. Rend.*, 21 fèvr. 1898, pag. 586.

Digitized by Google

considerevole diminuzione del potenziale di scarica. Aggiungerò ora che egli altresì riconobbe, che con questa diminuzione graduale si giunge sino ad un minimo, dopo di che il potenziale di scarica torna a crescere.

Da una più recente ricerca di R. S. Willows [1] si desume invece che, almeno per tubi con gas a pressione compresa fra 1 millimetro e $^1/_{10}$ di millimetro, un campo magnetico trasversale può in certi casi dar luogo a diminuzione del potenziale di scarica. Ciò si verifica allorchè il campo agisce sul catodo e regioni attigue. Se si prendono come ascisse i valori della pressione e come ordinate i potenziali di scarica, si ottengono due curve diverse secondo che esiste o no il campo. Entrambe presentano in alto la loro concavità, e la curva corrispondente al caso in cui il campo esiste poco differisce da quella che si otterrebbe trasportando l'altra curva parallelamente alle ascisse e verso l'origine. Fino ad una certa pressione la prima curva sta dunque al disotto della seconda, mentre per pressioni superiori essa ha ordinate più lunghe.

(1) *Phil. Mag.* Febr. 1901, pag. 250.

Digitized by Google

Infine, lo stesso Autore trovò che quando il campo agisce presso l'anodo o sulla colonna positiva, si ha sempre come effetto di esso un aumento nel potenziale di scarica e una diminuzione nella intensità della corrente.

Digitized by Google

Digitized by Google

Capitolo VI.

DISPOSIZIONI SPERIMENTALI

22. - Piano generale delle esperienze.

Da quanto è stato esposto nel precedente capitolo risulta, che già vari fisici hanno ritenuto non sufficiente l'ordinaria spiegazione del fascio luminoso di Plücker, ed hanno intuito che esso sia costituito da nuovi raggi, cui diedero speciali denominazioni (raggi di seconda specie, raggi magnetocatodici, ecc.) senza però indicare neppure in via di ipotesi, quali siano la loro natura e la loro costituzione. Ora, una volta acquistata la persuasione della possibile esistenza, particolarmente nel campo magnetico, dei raggi magnetici, cioè di raggi costituiti dal moto traslatorio di sistemi elettricamente neutri simili a stelle doppie, e formati ciascuno da un elettrone negativo e da un ione positivo, l'ipotesi che tali raggi siano precisamente quelli, che si manifestano come fascio di Plücker, doveva natu-

Digitized by Google

ralmente presentarsi alla mente, ed indurre a cercarne qualche conferma sperimentale.

Se non che le difficoltà che presenta una simile ricerca sono grandissime, specialmente per la mancanza di confronti possibili con risultati teorici. Così, mentre quando si trattò di stabilire la natura dei raggi catodici o dei raggi-canali, si potè prevedere col calcolo in quale maniera la traiettoria d' un elettrone o d' un ione si modifica per opera d' un campo magnetico e di un campo elettrico, agenti separatamente o insieme, e si poterono dopo verificare sperimentalmente i risultati così previsti, il fare altrettanto non sembra possibile, almeno per ora, per le coppie giranti costituenti i raggi magnetici. È quindi giocoforza limitarsi a cercare delle prove indirette in favore dell' ipotesi proposta.

Poichè i raggi magnetici, pel modo in cui si suppongono costituiti, trasportano in pari tempo cariche dei due segni presumibilmente in uguali quantità (salvo il supporre ioni positivi plurivalenti, o elettroni in numero maggiore di uno), il risultato di Villard, secondo il quale i raggi da lui chiamati magneto-catodici non portano alcuna carica ad un

Digitized by Google

conduttore che li riceva, costituirebbe una prova favorevole, se il risultato stesso non fosse, anche a giudizio del medesimo fisico, alquanto mal sicuro. Perciò le prime esperienze, quelle appunto che saranno riferite nel seguente capitolo, furono istituite col proposito di stabilire con molta certezza, se i supposti nuovi raggi trasportano o no cariche elettriche.

Un'altra linea di indagine da seguirsi era quella di cercare qualche manifestazione degli elettroni e dei ioni positivi, che provengono dai raggi magnetici, allorchè restano distrutte le coppie elettrone-ione, di cui constano. Le relative esperienze saranno descritte nel capitolo VIII.

Una volta messo in esecuzione questo piano di ricerca, e constatato che conduceva a risultati assai soddisfacenti, questi risultati, come pure certe casuali osservazioni, suggerirono nuovi progetti di esperienze. Anche queste verranno qui descritte, e precisamente nei capitoli VIII e seguenti di questo libro; nel presente capitolo saranno descritti intanto gli apparecchi adoperati nella maggior parte di esse.

Digitized by Google

23. - Tubi di scarica.

Il numero di tubi di scarica di svariate forme che vennero costruiti fu grandissimo, ciò che rese la ricerca estremamente laboriosa. La forma di essi verrà descritta man mano che se ne presenterà l'occasione; basterà indicare qui la forma data al catodo, perchè ha quasi sempre molta importanza.

Quando occorreva un fascio catodico ben visibile per una buona parte del suo percorso e di ristretta sezione, fu data al catodo una delle forme adottate da Villard. Esso era cioè costituito da un disco d'alluminio coperto con una lastra di mica, o meglio di vetro, avente nel mezzo un foro assai piccolo, dal quale soltanto potevano svilupparsi i raggi catodici.

La fig. 14 mostra un catodo di questo genere. *AB* è il disco d'alluminio, *AC* un filo dello stesso metallo, prolungantesi nel filo di platino *CD* da saldarsi collo smalto nella parete del tubo, *EFGH* una specie di scatola di vetro, avente in *O* una piccola apertura, ricavata da un tubo *EFG'A'* munito dello stretto ramo laterale circondante il

Digitized by Google

filo *AC*. Qualche volta il filo *ACD* era assai lungo, e anzichè essere saldato nella parete del tubo di scarica era fissato ad un pezzo *A* (*fig. 15*) girevole

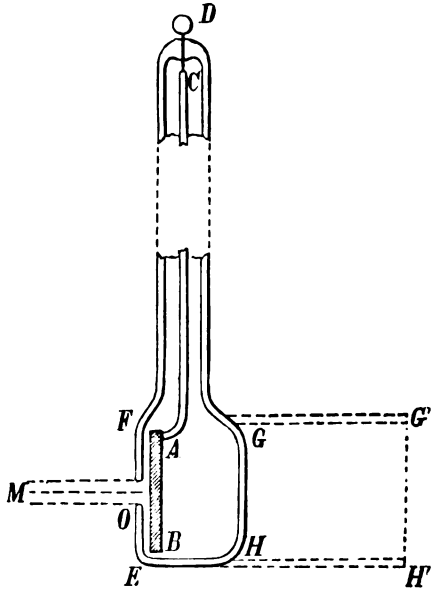

Figura 14.

a smeriglio. Era così possibile dare al fascio catodico *OM* qualsiasi inclinazione rispetto alla direzione *D* del campo magnetico.

Però nel maggior numero delle esperienze non occorreva ridurre tanto la sezione del fascio cato-

Digitized by Google

dico, mentre interessava assai più limitarne la divergenza. La forma adottata da Hittorf, o una da questa poco diversa, risultò quindi generalmente preferibile. Perciò in molti dei tubi costruiti per

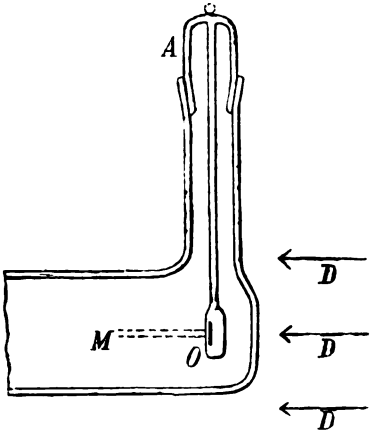

Figura 15.

queste ricerche il catodo consta d' un dischetto di alluminio *AB* (*fig. 16*) di 3 a 6 millimetri di diametro, solidale con un gambo del medesimo metallo congiunto al filo di platino *C*. Questo, per mezzo dello smalto fusibile *EF*, che serve a saldarlo nella parete del tubo di scarica, è congiunto ad un cannello di vetro *DE*, in cui il disco *AB* entra

Digitized by Google

appena, e che lo sopravanza per una lunghezza *BD* di 15 a 25 millimetri. Il cannello *AD* non intercetta sensibilmente i raggi catodici o i raggi magnetici, perchè nelle esperienze eseguite con un catodo della forma descritta l' asse del medesimo coincide generalmente con quello del rocchetto destinato a creare il campo magnetico. Del resto

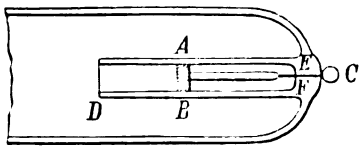

Figura 16.

si dimostrerà in seguito che non è solo alla superficie del catodo che prendono origine i raggi magnetici.

24. - Elettrocalamite e pompe ad aria.

Il rocchetto destinato a creare il campo magnetico fu sempre uno dei due che, montati su due pezzi di ferro a squadra mobili su un banco orizzontale esso pure di ferro, costituiscono la notissima elet-

Digitized by Google

trocalamita di Ruhmkorff. Qualche volta furono adoperati entrambi i rocchetti, ma sempre senza i detti pezzi a squadra. Anche il banco non venne mai utilizzato.

I detti rocchetti hanno un'anima di ferro lunga 18,8 c. e di 6,3 c. di diametro. L'avvolgimento, che non è quello che originariamente avevano i rocchetti, ha un diametro esterno di 20,5 c., e può sopportare anche per lungo tempo una corrente di oltre 16 ampère fornita da 30 accumulatori, nel circuito dei quali, oltre al necessario interruttore, furono sempre inseriti un amperometro, ed un reostata per graduare la corrente.

Quando entrambi i rocchetti erano adoperati, ciascuno aveva a parte la propria batteria di accumulatori, il proprio reostata, ecc.

Spesso occorreva modificare momentaneamente il campo magnetico eccitando colla corrente uno o più altri rocchetti, posti generalmente col loro asse perpendicolare a quello del rocchetto destinato a creare il campo. Questi rocchetti, espressamente costruiti, avevano dimensioni assai minori di quelle dei precedenti. Anche per essi occorreva graduare, mediante un reostata, l' intensità della corrente.

Digitized by Google

Non era sempre possibile adoperare, invece di questi piccoli rocchetti, delle calamite permanenti, per la ragione che il magnetismo di queste era troppo modificato dall' influenza dei grandi rocchetti, al punto che la loro polarità poteva anche mostrarsi invertita. In certi casi però si otteneva l' intento prefisso semplicemente coll'accostare una grossa sbarra di ferro dolce. Per influenza del campo magnetico essa si magnetizzava in un senso determinato, ed il campo restava modificato come se, invece del ferro, si fosse impiegata una calamita permanente o una elettrocalamita con polarità di ugual senso.

La misura dell' intensità della corrente nel grande rocchetto permetteva di determinare la intensità del campo magnetico da esso prodotto. Siccome questo campo non è uniforme, per dare idea della sua intensità relativa nelle varie esperienze si stabilì di misurarlo sempre sull' asse del rocchetto, e ad un centimetro e mezzo di distanza dalla sua faccia polare. L' intensità del campo in quel punto fu valutata una volta per tutte misurando la rotazione del piano di polarizzazione della luce del sodio prodotta da uno strato, grosso pochi millimetri, di solfuro di carbonio, e per diversi

Digitized by Google

valori della corrente magnetizzante. In base a simili misure preliminari si poteva sempre determinare, con approssimazione più che sufficiente pel caso attuale, il valore del campo, deducendolo con interpolazione dell'intensità della corrente passante pel filo dell'elettrocalamita.

Per ridurre al voluto valore la pressione del gas nel tubo di scarica vennero sempre adoperate, prima una pompa ad olio a due cilindri, poi la nuova pompa rotativa a mercurio di Gäde costruita dal Leybold di Cöhn. Senza quet'ultima, che fa il vuoto con grande rapidità, le esperienze, anzichè durare pochi mesi, avrebbero certo richiesto un tempo assai più considerevole.

Per la misura della pressione del gas entro i tubi di scarica, mentre erano congiunti alle pompe, fu adoperato un manometro del noto tipo di Mac-Leod.

25. - Sorgenti elettriche e strumenti di misura per le scariche.

Nella maggior parte dei casi, e particolarmente per le esperienze descritte nel capitolo VIII, è indispensabile evitare ogni brusca variazione di poten-

Digitized by Google

ziale. Occorre quindi, non solo porre il tubo di scarica nel circuito senza che la continuità metallica sia interrotta oltre che dal tubo stesso, ma proscrivere l' uso delle scariche indotte d' un rocchetto. Ciò che v' ha di meglio è dunque ricorrere ad una batteria di piccoli accumulatori, coll'avvertenza d' inserire opportune resistenze, costituite da tubi di vetro contenenti acqua mista ad alcool, o acqua pura, o acqua acidulata a norma del bisogno, affinchè l' intensità della corrente nel tubo di scarica non sia troppo grande. Ma una buona macchina ad influenza mossa da un motore elettrico, dà risultati altrettanto buoni quanto quelli che si ottengono cogli accumulatori. Questa anzi fu la sorgente adoperata generalmente, e qualche volta la sola possibile, se la rarefazione del tubo era tale da richiedere una differenza di potenziale più grande di quella, che poteva fornire la batteria di accumulatori disponibile, la quale era formata di 2640 elementi.

Qualche volta si accoppiarono due grandi macchine ad influenza tipo Holtz, una a quattro e l'altra a otto dischi, onde avere una corrente di maggior intensità attraverso il tubo di scarica.

Tale intensità veniva misurata da un galva-

Digitized by Google

nometro tipo Wiedemann inserito nel circuito del tubo di scarica, ed i cui rocchetti erano formati da filo isolato in modo assai più perfetto del consueto. Un voltametro elettrostatico, la cui sensibilità si poteva regolare secondo il bisogno mutando il pesetto attaccato all'ago mobile, indicava poi ad ogni istante la differenza di potenziale fra gli elettrodi del tubo di scarica.

Infine, qualche volta si riconobbe utile inserire delle lunghe colonne d'acqua nel circuito, anche quando si adoperava la macchina ad influenza e non gli accumulatori, allo scopo di attutire l'effetto di qualche inavvertita lieve interruzione nella parte metallica del circuito. Sempre poi fu tenuto nel circuito stesso un inversore, destinato a dirigere secondo il senso voluto la corrente nei tubi di scarica ad onta delle eventuali e spontanee inversioni di carica della macchina a influenza, che si verificavano quando da molto tempo era in uso senza aver subìto la debita ripulitura dei dischi, e quando l'aria nella cassa in cui sta chiusa non era più perfettamente secca.

Altri apparecchi adoperati solo in casi speciali saranno indicati a tempo debito.

Digitized by Google

Capitolo VII.

CARICHE TRASPORTATE DALLA MATERIA RADIANTE IN UN CAMPO MAGNETICO

26. - Metodo adottato.

Se davvero i raggi catodici si trasformano in raggi magnetici, allorchè sono esposti all'azione di una elettrocalamita, tale trasformazione non sarà completa, che quando l'intensità del campo magnetico avrà raggiunto un certo valore. È dunque prevedibile che, facendo crescere tale intensità gradatamente a partire dal valore zero, debba diminuire poco a poco la carica negativa, che i raggi cedono ad un conduttore da essi incontrato.

Onde potere constatarlo è evidentemente necessario, che il campo magnetico non muti sensibilmente la forma del fascio catodico, al che si richiede, che il campo magnetico ed i raggi abbiano sensibilmente la medesima direzione. Con questo intento fu preparato un apparecchio, il quale, dopo

Digitized by Google

molte modificazioni successivamente introdottevi, ha assunto la forma indicata dalla fig. 17.

Un tubo cilindrico di vetro *AB* lungo circa 25 cm. e del diametro di 4,5 cm. porta un ramo laterale, da cui parte un sottile cannello *D*, che lo fa comu-

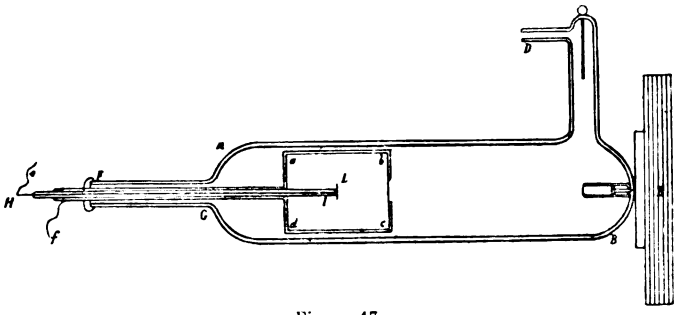

Figura 17.

nicare colla pompa, e che contiene l' anodo in forma di sbarretta o di piccolo disco d' alluminio. All' estremo *B* del tubo principale è saldato il catodo, avente la forma della fig. 16, ed il cui asse coincide con quello del tubo *AB*. All'estremità opposta *A* del tubo è unito un cannello di vetro *FG*, entro il quale può scorrere l' asticella d' ottone *HI* circondata da un altro cannello di vetro, alla sua volta introdotto in un tubo d' ottone. A questo è

Digitized by Google

saldata la scatola cilindrica d' ottone *abcd*, avente nel centro della base *bc* un'apertura circolare chiusa da una reticella metallica. La scatola *abcd* costituisce un conduttore cavo quasi completamente chiuso, o camera di Faraday, tenuto in permanente comunicazione col suolo per mezzo di un filo metallico *f*. Un altro filo *e*, circondato in tutta la sua lunghezza da un tubo metallico comunicante col suolo, serve per far comunicare con un elettrometro a quadranti l' asticella *HI*, e quindi anche un dischetto metallico *L* posto di fronte alla tela metallica. La buona chiusura fra il cannello di vetro *FG* ed il tubo d' ottone a cui è saldata la scatola *abcd* è ottenuta con ceralacca. Basta rammollire quest' ultima per portare la scatola alla distanza che più si desidera dal catodo.

Infine uno dei grandi rocchetti *E* descritti nel capitolo precedente, ed il cui asse coincide con quello del tubo di scarica, serve a creare il campo magnetico. E siccome il rocchetto deve essere posto assai vicino al tubo, la comunicazione del catodo colla macchina elettrica vien fatta, come nella maggior parte delle esperienze qui descritte, per mezzo d' un filo circondato da un tubo di

Digitized by Google

vetro a grossa parete introdotto nel foro assiale del nucleo dell'elettrocalamita.

Allorchè si è abbastanza rarefatta l'aria nel tubo e la macchina elettrica è posta in azione, mentre vedonsi nel tubo laterale *C* la colonna positiva stratificata, ed entro il tubetto circondante il catodo i due strati negativi, si scorge che il secondo di questi esce in parte dal tubetto formando un fascio luminoso divergente, che si estende tanto più, quanto maggiore è la rarefazione. Intanto l'elettrometro devìa di più in più indicando una carica negativa crescente, evidentemente dovuta agli elettroni provenienti dal catodo. Sembrerebbe fosse facile misurare la carica negativa raccolta dal disco *L* in un dato tempo, e confrontarla con quella che esso raccoglie, allorchè la corrente passa nel rocchetto *E*, dando nei due casi all'esperienza uguale durata. Ma ciò invece riesce impossibile in causa dell'elevata conducibilità, che è conferita dalla scarica all'aria rarefatta, e che non sparisce d'un tratto al cessare della scarica stessa. Si riconosce infatti che, facendo cessare il passaggio della corrente fra gli elettrodi del tubo, l'elettrometro si scarica rapidamente. L'aria ionizzata

Digitized by Google

stabilisce infatti una comunicazione fra il disco *L* e la scatola comunicante col suolo *abcd* che lo circonda.

Per evitare questa difficoltà venne adottato il metodo seguente, sufficiente per lo scopo attuale, benchè non sia tale da dare valutazioni relative esatte.

La macchina elettrica è tenuta in azione in modo permanente, cosicchè la deviazione elettrometrica continua lungamente ad aumentare. Però questo aumento, rapido in principio, si fa in seguito di più in più lento, sinchè si giunge ad una deviazione sensibilmente invariabile. Ciò naturalmente ha luogo, quando la quantità di elettricità raccolta in un dato tempo dal disco *L* eguaglia la quantità d'elettricità che nel tempo stesso va perduta, sia attraverso l'aria ionizzata entro l'apparecchio, sia per la consueta dispersione. La deviazione *massima* o *finale*, così ottenuta, non è proporzionale alla quantità di elettricità raccolta nell'unità di tempo dal disco, ma è certamente tanto maggiore, quanto più grande è la quantità stessa, ciò che è sufficiente per lo scopo attuale.

Digitized by Google

27. - Risultati.

Raggiunta che sia la deviazione massima senza che agisca il campo magnetico, basta eccitare la elettrocalamita con una corrente di conveniente intensità, perchè immediatamente veggasi diminuire quella deviazione sino ad assumere un nuovo valore stabile, che subisce in generale una ulteriore diminuzione, se l' intensità del campo viene aumentata.

Varie circostanze influiscono sulla grandezza delle deviazioni finali, e principalmente la pressione dell' aria, l' intensità del campo magnetico e la distanza fra la scatola *abcd* ed il catodo.

Per dare una idea dell' entità di tali influenze, e dapprima per ciò che riguarda la pressione ed il campo, ecco una piccola tabella numerica, che raccoglie i risultati di due serie di misure fatte con campo magnetico d' intensità crescente e con due diversi valori della pressione dell' aria nel tubo. La distanza fra la scatola metallica ed il catodo era di 21 centimetri circa.

Digitized by Google

Campo C. G. S.	Press: 0,18 mm.	Press: 0,30 mm.
0	— 21 v.	— 5, 6 v.
280	» 21, 4	» 6, 7
520	» 22, 7	» 3, 5
810	» 8, 8	» 3
1220	» 4, 7	» 1
1620	» 2, 7	» 0, 1
1840	» 2, 5	» 0, 1

I numeri della prima colonna servono a dar idea dell' intensità del campo magnetico. Quelli della seconda danno in *volta* il potenziale raggiunto dall'elettrometro quando la pressione nell'apparecchio era di 18 centesimi di millimetro; quelli della terza gli analoghi valori per una pressione più grande (3 decimi di millimetro).

Si vede per esempio che, mentre alla pressione 0,18 e senza corrente nel rocchetto la deviazione finale negativa assunta dall' elettrometro corrispondeva a 21 *volta*, creando un campo di 1840 unità presso il catodo la deviazione stessa si riduceva a un ottavo circa del primitivo valore. Similmente per la pressione di 0,3 mm., alla quale tale riduzione relativa era anche più considerevole.

Digitized by Google

Ma seguendo d'alto in basso i valori del potenziale per una data pressione, si osserva un andamento, che merita di essere esaminato da vicino.

Si vede infatti, che un debole campo magnetico fa crescere la deviazione, e che solo aumentando ulteriormente il campo essa, oltrepassato un certo valore massimo, rapidamente decresce. Ma basta osservare nell'apparecchio il fenomeno luminoso per rendersi conto di simile andamento.

Quando si eccita il rocchetto con debole corrente, si vede chiaramente diminuire la divergenza del fascio luminoso uscente dal catodo, ciò che ha per naturale conseguenza quell'aumento iniziale della deviazione, che si è rilevato or ora. Un tal fatto si spiega facilmente e poteva anzi essere previsto, poichè è dovuto al modificarsi della forma delle traiettorie percorse dagli elettroni. Tali traiettorie erano sensibilmente linee rette divergenti senza campo magnetico; divengono linee rassomiglianti ad eliche avvolte intorno alle linee di forze, quando il campo esiste.

Crescendo gradatamente l'intensità di questo, il fascio luminoso muta d'aspetto d'un tratto; esso diviene infatti più lungo e più luminoso e sopra-

Digitized by Google

tutto assume la forma d'un cono meno divergente di prima, anzi sensibilmente quella di un tubo di forza del campo magnetico. E quantunque in questo caso il fascio abbia assunto tal forma, da potere per quasi tutta la sua sezione trasversale colpire il dischetto comunicante coll'elettrometro, pur tuttavia la carica negativa da questo raccolta diviene bruscamente assai più piccola di quella che, quando non esisteva il campo magnetico, acquistava il dischetto medesimo.

Non è necessario riportare i risultati ottenuti in tante altre esperienze simili a quelle, di cui nella precedente tabella sono riportati i risultati ottenuti, nelle quali però era differente la pressione dell'aria o la distanza dal catodo del dischetto comunicante coll'elettrometro. Basti il sapere, che in tutti i casi si manifestò, salvo la breve fase iniziale corrispondente a deboli intensità del campo, una notevole diminuzione della carica trasportata, quando si faceva agire il rocchetto. Questo effetto è pronunciatissimo per una certa pressione, e lo è meno sia per pressioni minori che per pressioni più grandi di quella. Così esso era appena apprezzabile, quando l'aria nell' apparecchio aveva la pressione di un

Digitized by Google

millimetro. Per grandi rarefazioni sembra potersi dire altrettanto, quantunque in tal caso la scatola metallica circondante il disco entri in funzione come un catodo secondario, ciò che indubbiamente deve perturbare i fenomeni.

Quanto all' influenza, che ha sui risultati la distanza dal catodo del dischetto raccoglitore si può dire che, contrariamente forse a ciò che potevasi supporre, il risultato delle esperienze diviene meno netto, quando quella distanza viene di troppo diminuita; ciò che però è a ritenersi dovuto alla modificazione del campo elettrico prodotto dalla presenza della scatola comunicante col suolo nella prossimità del catodo.

Infine il risultato generale non muta, se invece di lasciare isolati entrambi gli elettrodi del tubo, si pone l'anodo in comunicazione col suolo. Benchè in causa della ionizzazione dell'aria ciò debba favorire il caricarsi negativamente dell'elettrometro, resta tuttavia relativamente piccola la carica che esso raccoglie, quando agisce il campo magnetico.

Dalle esperienze descritte risulta dimostrata una modificazione profonda prodotta dal campo magnetico, della quale si può rendere conto principal-

Digitized by Google

mente in due modi. O il campo magnetico devia gli elettroni, e fa sì che essi non possano giungere al dischetto raccoglitore, ciò che non si saprebbe come spiegare, ed è in pari tempo contrario a quanto può desumersi dall'aspetto della luce nel tubo; oppure oltre agli elettroni giungono al dischetto delle cariche positive. Quest'ultima alternativa, contro cui nulla risulta dalla apparenza del tubo, è evidentemente favorevole all'ipotesi proposta, secondo la quale appunto formansi in posto di parte dei raggi catodici, dei raggi magnetici, e sul dischetto giungono invece che soltanto elettroni negativi liberi, anche coppie neutre elettrone-ione positivo.

La carica assunta dall'elettrometro non diviene nulla, come si è visto, neppure con campi magnetici intensissimi; ma colle condizioni sperimentali descritte, in cui la presenza della scatola comunicante col suolo perturba verosimilmente i fenomeni, non si può asserire che ciò indichi con sicurezza una sopravvivenza di raggi catodici. Però, se anche la cosa fosse sicura, essa non costituirebbe certo un'obbiezione all'ipotesi qui sostenuta. Nulla di più naturale infatti, che non tutti gli elettroni negativi formino quelle certe stelle doppie

Digitized by Google

unendosi ad un ione positivo; nulla di più naturale inoltre che, rompendosi uno di questi sistemi neutri prima di raggiungere il dischetto, l'elettrone rimasto libero, e non il ione positivo, possa recare all'elettrometro la propria carica.

Le coppie ione-elettrone devono certamente infrangersi, quando urtano il dischetto raccoglitore *L*. Può darsi allora che gli elettroni e i ioni in parte rimangano al dischetto e in parte rimbalzino; e poichè tanto i raggi catodici che i raggi-canali determinano la emissione di elettroni negativi per parte dei corpi da essi colpiti, può darsi che altrettanto avvenga quando i raggi magnetici colpiscono il dischetto. Queste vicende devono evidentemente tendere ad aumentare o a diminuire la carica assunta dall'elettrometro, ma probabilmente in complesso diminuirla o fors'anche renderla positiva. Qualche rara volta fu infatti ottenuta una lieve deviazione positiva dell'elettrometro operando con un campo magnetico intenso; ma non fu possibile riprodurre in modo costante e sicuro un tale risultato, in quanto che qualche volta, in condizioni apparentemente identiche, si raccoglieva invece una piccola carica negativa, oppure carica nulla.

Digitized by Google

Benchè senza gran profitto, vennero esaminate le questioni or ora accennate con apposite esperienze. Esse consistevano nel confrontare le deviazioni finali dell'elettrometro in due casi, differenti l'uno dall'altro semplicemente in ciò, che in uno di essi al dischetto d'ottone *L* (*fig. 17*) era sostituita una foglia d'alluminio (qualche volta raddoppiata) tesa in un anello metallico. Era verosimile, che la carica negativa raccolta dalla foglia metallica dovesse essere minore di quella raccolta dal disco d'ottone a parità d'ogni altra condizione, e forse anche che colla foglia la carica si annullasse o divenisse positiva. Il risultato delle esperienze numerose fatte in tale maniera fu però esattamente contrario. E cioè col dischetto di sottile foglia metallica la diminuzione della carica negativa raccolta sotto l'azione del campo magnetico, in confronto di quella raccolta senza il campo, fu sempre meno marcata di quella verificatasi col disco di grosso metallo.

Non sarebbe difficile spiegare questo risultato con logici ragionamenti basati su ipotesi sussidiarie molto verosimili ed accettabili; ma è meglio astenersene appunto pel carattere ipotetico che tali spiegazioni avrebbero, ed anche perchè con ipotesi

Digitized by Google

sussidiarie non meno accettabili a priori si era previsto il risultato opposto. Occorreranno nuove, e forse diversamente concepite ricerche sperimentali per acquistare una chiara e completa nozione di quanto accade, allorchè le piccole stelle doppie costituenti i raggi magnetici si rompono incontrando un corpo qualunque.

28. - **Raggi positivi nel campo magnetico.**

Una esperienza, che sarà descritta più avanti, mostrò la necessità di indagare se, sotto l'azione di un campo magnetico, accade dei raggi positivi ciò che si è dimostrato or ora pei raggi catodici, vale a dire se la carica raccolta da un conduttore da essi colpito diminuisce essa pure al crescere dell'intensità del campo.

Per effettuare questa ricerca fu espressamente costruito il tubo rappresentato circa a metà del vero nella fig. 18. Esso è cilindrico ed il suo diametro esterno è di circa 22 millimetri, per cui può essere introdotto nel rocchetto generatore del campo magnetico.

Esso contiene come anodo un dischetto d'alluminio *A* e come catodo un disco *CC* dello stesso

Digitized by Google

metallo avente nel centro un forellino di un millimetro di diametro. Il catodo è tenuto in comunicazione colla terra, insieme ad un lungo cilindro di reticella metallica di cui forma la base, e che quasi da ogni parte circonda un terzo disco metallico *D*, il quale viene tenuto in comunicazione

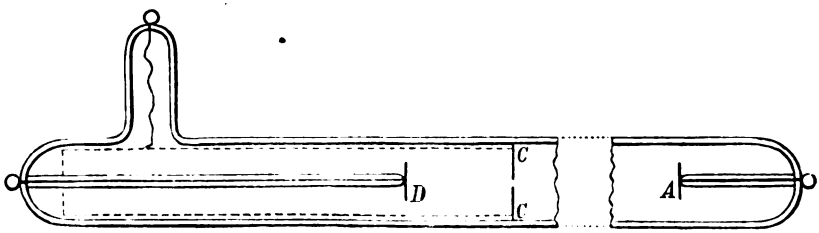

Figura 18.

coll' elettrometro. L' aria nel tubo ha la pressione di due o tre centesimi di millimetro.

Messa in azione la macchina si scorge facilmente attraverso la reticella il fascio di raggi-canali, che parte dal forellino e va a colpire il disco *D*. In pari tempo l' elettrometro acquista una carica positiva crescente sino ad un certo massimo.

Poichè il tubo è introdotto nel rocchetto dalla parte dell' anodo, quando si manda nel filo di quello una corrente, si crea un campo magnetico la cui direzione coincide con quella dell' asse del

Digitized by Google

tubo, e quindi con quella media dei raggi-canali, i quali non hanno perciò veruna tendenza a mutare di forma. Si nota tuttavia, che la deviazione elettromagnetica generalmente diminuisce tosto. In altre parole, il campo magnetico rende minore la carica positiva raccolta dal disco *D*.

Molte volte si nota una diminuzione di splendore dei raggi-canali, al momento in cui si eccita il campo. Ciò accade quando il tubo di scarica è tanto addentro al rocchetto, che la distanza fra la faccia polare di questo ed il catodo sia piccolissima.

Rendendo maggiore questa distanza, e cioè facendo uscire alquanto il tubo dal rocchetto, quella diminuzione di luce dei raggi-canali è minore di prima, ed anzi se la detta distanza è di 5 o 6 centimetri i raggi-canali non subiscono nessuna modificazione visibile nell' atto in cui il rocchetto viene eccitato. Infine se la distanza fra catodo e polo magnetico è anche maggiore, si osserva un lieve effetto inverso, cioè un piccolo aumento di splendore dei raggi-canali.

Già si è notato (§ 11), che con molta probabilità la luminosità dei raggi-canali proviene più specialmente da atomi neutri che da ioni, per cui non v' è da dare troppa importanza alle variazioni di

Digitized by Google

intensità luminosa prodotte dal campo magnetico. Ad ogni modo si constatò, che, qualunque fosse la distanza fra catodo e faccia polare del rocchetto, la deviazione dell' elettrometro diminuiva eccitando il rocchetto, e tanto più quanto maggiore era la intensità del campo magnetico.

Le numerose serie di misure effettuate in proposito diedero risultati sostanzialmente identici, tanto che basta riportare i numeri raccolti in una sola di tali serie. La distanza fra catodo e faccia polare del rocchetto era di sei centimetri.

Campo magnetico in unità *C. G. S.*	Potenziale raggiunto dall' elettrometro in *volta*
0	+ 21
205	» 21
610	» 19
1065	» 15
1375	» 13
1920	» 12

Se la distanza suddetta era assai minore, e vedevansi impallidire i raggi-canali, la diminuzione di carica dovuta al campo di crescente intensità era un poco più marcata.

Digitized by Google

Nel tratto di tubo compreso fra il catodo ed il rocchetto potevansi vedere sempre i due strati luminosi negativi, lo spazio oscuro di Faraday ecc.; ma quando si creava il campo appariva un fascio luminoso leggermente convergente, e cioè i raggi magnetici, e la regione trasversale di tale fascio si faceva di più in più ristretta man mano si accresceva l' intensità del campo.

Il tubo della fig. 18 ha un pregio speciale, giacchè mentre può servire a dimostrare il trasporto di cariche positive per parte dei raggi-canali, e la diminuzione della carica trasportata per opera del campo magnetico, esso può essere adoperato anche per le analoghe esperienze relative ai raggi catodici. Basta infatti invertire le comunicazioni colla macchina elettrica; e cioè, tenendo ancora *CC* in comunicazione col suolo, far comunicare *A* col polo negativo della macchina, il cui polo positivo è messo a terra, perchè possano effettuarsi le esperienze descritte nel § 27.

Anche coi raggi positivi partenti dall'anodo, quando questo è costituito alla maniera di Reichenheim e Gehrcke (v. pag. 65), fu istituita una ricerca simile alla precedente. Venne adoperato a tale scopo

Digitized by Google

dapprima lo stesso apparecchio della fig. 17, che aveva servito pei raggi catodici, salvo che l'elettrodo laterale fuzionava da catodo, e l'anodo, posto alla estremità *B* del tubo, era formato da una pastiglia di ioduro di litio e piombaggine; si adoperò in seguito un apparecchio espressamente costruito assai simile a quello della fig. 18, salvo che *CC* era un disco di reticella metallica, *A* era anodo di ioduro di litio, ed il catodo era inserito in un ramo laterale. Dalle misure fatte risultò nettamente una influenza decisa del campo magnetico sulla deviazione elettrometrica; per convincersene basta osservare la seguente tabella.

Campo magnetico in unità *C. G. S.*	Deviaz. elettrometrica in *volta*
0	38
910	30
1010	26
1215	7
1635	6
1825	6
1215	7
1010	28
0	36

Digitized by Google

Come si vede, i raggi anodici sembrano comportarsi come i raggi catodici e come i raggi-canali. Infatti al crescere del campo la carica raccolta dal dischetto comunicante coll' elettrometro dapprima varia di poco, ma poi diminuisce improvvisamente, quando il campo raggiunge una certa intensità.

Si vedrà nel capitolo IX qual significato abbiano i risultati delle esperienze del presente paragrafo.

Digitized by Google

Capitolo VIII.

RAGGI MAGNETICI IN CAMPO NON UNIFORME

29. - Caso dei tubi con elettrodi alle estremità.

Le numerose esperienze, alla cui descrizione è dedicato questo capitolo, ebbero origine dal concetto precedentemente esposto, quello cioè di investigare se, allorquando i supposti raggi magnetici, dopo aver percorso il campo magnetico non uniforme nel senso in cui la intensità del medesimo decresce, si distruggono in causa del venir meno la ragione della loro stabilità, e quindi rimangono separati gli elettroni ed i ioni positivi che fino allora avevano costituito le ipotetiche stelle doppie, qualche fenomeno si produca, che riveli la comparsa di quei ioni ed elettroni.

Nelle prime esperienze furono adoperati tubi di scarica cilindrici e di varie dimensioni, aventi il catodo ad una delle estremità e l'anodo all'altra, e collocati in modo che il loro asse coincidesse con quello del grande rocchetto destinato a pro-

Digitized by Google

durre il campo magnetico. Il catodo essendo vicinissimo al polo del rocchetto, i raggi magnetici dovevano propagarsi secondo l'asse del tubo allontanandosi dal catodo, passando così dal luogo ove il campo magnetico ha la massima intensità, a regioni ove il campo ha intensità via via minore.

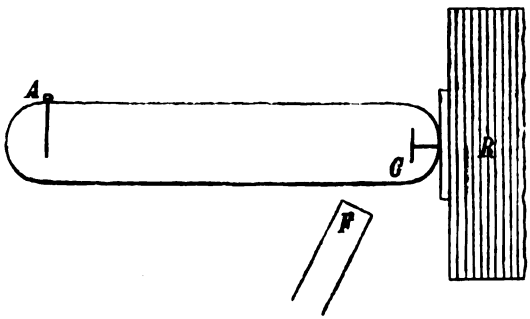

Figura 19.

La fig. 19 rappresenta uno di tali tubi di cui *A* è l'anodo e *C* il catodo, mentre in *R* si vede l'estremità del rocchetto creatore del campo magnetico.

Se il catodo ha una forma come quella della fig. 14, e se la sua superficie non è perpendicolare all'asse del tubo, quando si ha entro questo una conveniente pressione, vedesi la nota colonna positiva stratificata di luce rossa, che comincia in *A* e

Digitized by Google

giunge sino ad una certa distanza dal catodo, mentre dal foro di questo esce un filetto luminoso azzurro-violetto perpendicolare alla sua superficie. Eccitando il rocchetto con una debole corrente, di cui poscia si fa crescere gradatamente l'intensità, il detto filetto luminoso assume una forma somigliante a quella di un'elica, e poi compare il tubo luminoso, su cui giace quella curva, e che è costituito dai raggi magnetici. Intanto gli strati della colonna positiva si ritirano verso l'anodo, ed il loro numero diminuisce.

Se invece il catodo ha la sua superficie piana perpendicolare all'asse del tubo, oppure se manca del diaframma forato od ha la forma della fig. 16, l'elica luminosa naturalmente non appare, ma la trasformazione più o meno brusca dei raggi catodici in raggi magnetici, con ritiro degli strati positivi verso l'anodo, si presenta egualmente. L'aspetto dei raggi magnetici è generalmente assai simile a quello dei raggi catodici uscenti da un catodo diaframmato (*fig. 14 e 15*), e cioè la loro luce è azzurro-violetta. Però spingendo la rarefazione assai oltre, essi divengono biancastri o decisamente bianchi, mentre in certi casi e particolarmente a pres-

Digitized by Google

sioni relativamente elevate possono mostrarsi di un colore rosso simile a quello della colonna di luce positiva. Continuando ad aumentare l'intensità del campo aggiungendo, se occorre, un secondo rocchetto posto presso l'anodo e coll'asse coincidente con quello del primo, si può giungere al punto da ridurre a uno o due gli strati positivi, anche se senza il campo erano assai numerosi; ed allora i raggi magnetici li attraversano giungendo sino alla estremità del tubo. Vedesi cioè un fascio fusiforme di luce azzurro-violetta, che va da una estremità all'altra del tubo.

L'accorciarsi della colonna positiva allorchè si eccita il campo magnetico non accade sempre; con certe forme e grandezze del catodo ed entro certi limiti di intensità del campo magnetico all'aumento di questa può corrispondere un allungarsi della colonna positiva stratificata.

Le fig. 20 e 21 riproducono alcune fotografie di scariche, che mostrano tale fenomeno [1]. Nella

[1] In queste, come in tutte le altre fotografie eseguite dall'Autore, oltre alla impressione fotografica della scarica distinguonsi qualche poco anche l'imagine del tubo, quella dell'elettrocalamita, ecc. Ciò è utile per potere giudicare la

Digitized by Google

fig. 20 vedonsi le imagini della scarica in un tubo cilindrico posto fra due rocchetti. A destra sta un catodo della forma fig. 16, a sinistra l' anodo, che è un disco d' alluminio di circa 3 centimetri di diametro. Nel caso della imagine *a* i rocchetti non sono eccitati, e la luce che appare a destra è quella del fascio di raggi catodici. In *b* si scorge l'effetto prodotto allorchè, eccitata con una corrente di 7 *ampère* il rocchetto di destra (campo magnetico 910 unità), mostravasi a partire dal catodo un largo fascio di raggi magnetici. In *c* poi si ha un aspetto simile a quello *b*, soltanto si nota un raccorciamento notevolmente minore della colonna positiva ed uno sviluppo minore dei raggi magnetici. Il lettore si sentirà certo disposto a pensare, che l'imagine *c* sia stata ottenuta sotto l' azione d'un campo magnetico più debole di quello adoperato quando

posizione occupata dalla luminosità della scarica entro l' apparecchio. Per conseguire questo risultato bastò illuminare quest' ultimo durante la posa, per mezzo di lampade opportunamente collocate. Questa luce accessoria non poteva sensibilmente nuocere all' imagine della luce della scarica, perchè l' apparecchio era collocato contro un fondo di velluto nero, ma solo generare qualche imagine di riflessione sul vetro, che però non può dar luogo a confusione.

Digitized by Google

si ottenne l' imagine *b*. Ma in realtà nel caso *c* la corrente nel rocchetto era di 16 *ampère* (campo 1635 unità).

Ecco una prima dimostrazione d'un fatto, che si presentò ripetutamente nel corso di queste ricerche, e che conferma la previsione, suggerita dalla ipotesi ammessa, secondo la quale un campo magnetico troppo intenso non favorisce più la stabilità delle coppie ione-elettrone.

Nell'imagine *a* fig. 21, ottenuta dal medesimo tubo, sono invertite le comunicazioni fra questo e la sorgente di elettricità, per cui il catodo è ora un disco assai largo; inoltre non v'è campo magnetico. In *b* invece si è eccitato il rocchetto di sinistra, cioè quello attiguo al nuovo catodo. Come si vede la colonna positiva risulta un poco allungata, anzichè raccorciata, e i raggi magnetici appaiono scarsamente.

Il confronto fra le fig. 20 e 21 mette in chiaro l'utilità dei catodi a superficie ristretta.

Se si avvicina al tubo di scarica e presso il catodo una sbarra di ferro *F* (*fig. 19*), la quale naturalmente presenterà per influenza alla sua estremità un polo magnetico di nome contrario a quello

Digitized by Google

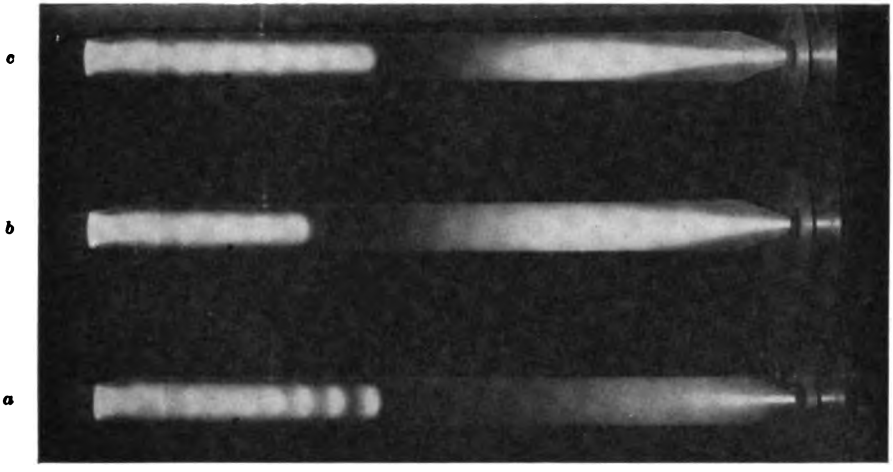

Figura 20 — Scala, circa 1 : 6.

UNIV. OF CALIFORNIA

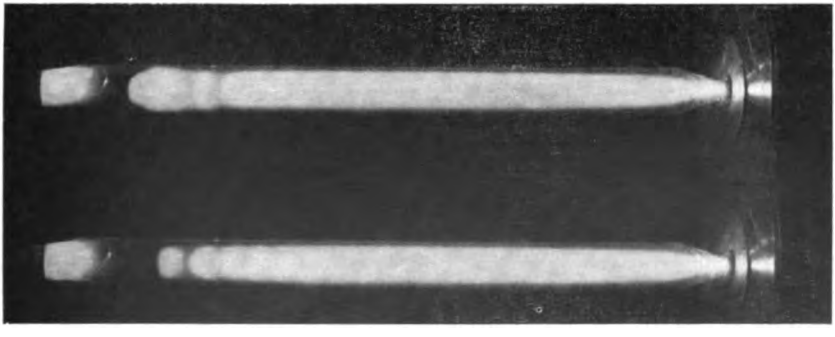

Figura 21 — Scala, circa 1 : 6.

Digitized by Google

UNIV. OF
CALIFORNIA

Digitized by Google

del rocchetto *R* prossimo al catodo, i raggi magnetici s'incurvano, come fu detto più sopra, seguendo sensibilmente le nuove linee di forza magnetiche, e cioè si comportano come fossero attratti da *F*. Allora vedonsi ricomparire al loro posto gli strati della colonna positiva, presso a poco come se il campo cessasse d'agire. Ciò sembra indicare che, se dapprima essi si ritiravano, ciò si doveva più che ad una azione diretta del campo magnetico, ad una proveniente dai raggi magnetici.

Dando all'anodo la forma di lamina traforata o di reticella, e collocandolo a distanza abbastanza piccola dal catodo, si riesce facilmente a far sì, che i raggi magnetici lo raggiungano ed anche l'oltrepassino di molto. Il tubo adoperato per questa esperienza ha la forma esterna di quelli che saranno descritti fra poco ed è rappresentato nella fig. 22. Il catodo è in *C* ed in *A* l'anodo, che però non si adopera per l'esperienza attuale. Invece fa da anodo una reticella metallica *A'* che chiude o quasi la sezione del tubo. Con rarefazione molto spinta, ed eccitando fortemente il rocchetto *E*, si vede il fascio di luce azzurro-violetta partente dal catodo, estendersi entro il tubo anche al di là dell'anodo *A'*, ed

Digitized by Google

essere attratto o respinto quando gli si avvicina un polo magnetico.

Insieme a questi effetti visibili, il campo magnetico dà luogo ad una variazione del potenziale di

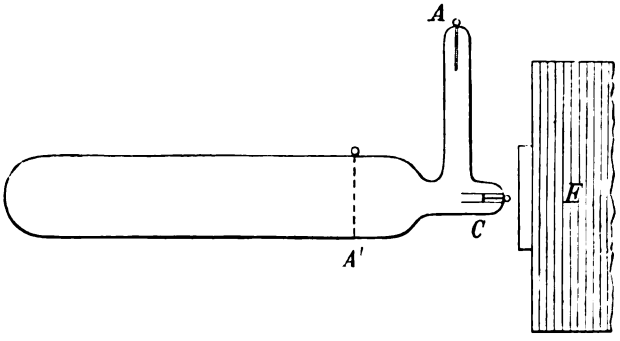

Figura 22.

scarica. Ecco infatti i valori misurati mediante l'elettrometro ad ago verticale di Thomson, per diverse pressioni, sia senza campo che col campo magnetico (circa 1500 unità ad un centimetro e mezzo dal polo del rocchetto). Il tubo adoperato per queste misure aveva un largo catodo interamente scoperto.

Digitized by Google

Pressione nel tubo	Potenziale senza campo	Potenziale col campo
mm. 1, —	1800 volta	1900 volta [1]
» 0, 400	1280 »	1280 »
» 0, 200	1000 »	850 »
» 0, 110	800 »	620 »
» 0, 070	720 »	650 »
» 0, 040	850 »	750 »
» 0, 025	1150 »	920 »

Coi numeri di questa tabella si sono fissati i punti, rappresentati nella fig. 23 con piccolissimi cerchi, prendendo come ascisse le pressioni e come ordinate i potenziali di scarica, poi si sono tracciate le curve continue che passano il più possibile in prossimità di essi. La curva I si riferisce al caso in cui non si aveva campo magnetico; la curva II corrisponde al caso opposto. Come si vede, salvo che a piccola rarefazione, il campo magnetico fa diminuire il potenziale di scarica, ciò che, in relazione a quanto si esporrà più oltre, conferma l'opinione, che la scarica nel tubo prodotta dalla macchina ad influenza,

(1) Solo parte del catodo è coperta di luce negativa.

Digitized by Google

benchè costituisca un fenomeno apparentemente continuo, tale non sia in realtà.

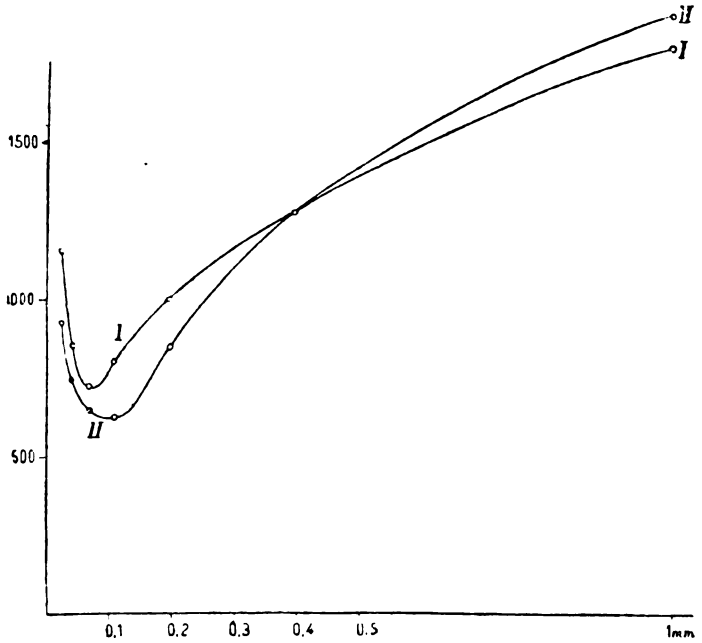

Figura 23.

Questo risultato è conforme a quello ottenuto in precedenza da altri fisici (§ 21). Era conveniente averne conferma nelle attuali condizioni sperimentali, pel confronto con ciò che si ottiene coi tubi ad anodo laterale (§ 30).

Digitized by Google

Benchè le esperienze descritte nel presente paragrafo non abbiano corrisposto all'aspettativa, in quanto che da esse non si ricava nessun chiaro indizio della esistenza dei ioni positivi e degli elettroni provenienti dal distruggersi dei raggi magnetici, pur tuttavia esse non contraddicono menomamente all'ipotesi ammessa, coll'aiuto della quale anzi possono spiegarsi nelle loro principali modalità. A questo scopo occorre richiamare però dapprima succintamente la teoria della scarica, quale è oggi ammessa da tutti, e come fu esposta nel § 5.

Gli elettroni respinti dal catodo ionizzano il gas, non appena acquistano una velocità sufficiente. La regione, ove ciò avviene, è il secondo strato di luce negativa. I ioni positivi resi liberi in tal modo si precipitano verso il catodo, e allorchè giungono presso di questo, hanno acquistato velocità sufficiente per ionizzare il gas, donde la formazione del primo strato di luce negativa, separato dall'altro per mezzo dello spazio oscuro catodico. Infine gli elettroni partiti originariamente dal catodo e dal primo strato negativo, insieme a quelli generati per ionizzazione nel secondo strato negativo, soltanto dopo aver percorso lo spazio oscuro propriamente

Digitized by Google

detto (che separa la luce negativa dalla colonna positiva) acquistano la necessaria velocità per generare mediante la ionizzazione la luce positiva.

Ciò posto, se per effetto del campo magnetico parte almeno degli elettroni partiti dal catodo o dalle sue vicinanze si unisce a ioni positivi e forma le supposte coppie neutre giranti costituenti i raggi magnetici, queste, anche perchè sospinte dal campo, si allontanano dal catodo sinchè arrivano in una regione, nella quale il campo è così debole, che esse restano distrutte. Qui soltanto gli elettroni negativi tornano liberi e dopo breve ulteriore cammino acquistano, sotto l'azione della forza elettrica, la velocità necessaria per ionizzare il gas. Ciò accadrà in una regione tanto più lontana dal catodo, quanto più intenso è il campo magnetico (purchè l'intensità di questo non ecceda un certo limite), con che resta spiegato il raccorciarsi della colonna positiva.

30. - **Tubi ad anodo laterale.**

Bastò una lieve modificazione nella forma del tubo di scarica, perchè si ottenessero fenomeni nuovi e interessanti.

Digitized by Google

Stante la presenza dell'anodo di fronte al catodo, i raggi magnetici si muovono sempre nel campo elettrico, e questa circostanza può influire alquanto sul loro modo di comportarsi. Sembrò dunque utile togliere l'anodo dal luogo occupato, e collocarlo per esempio in un ramo laterale presso il catodo, onde rendere nulla o quasi (e in ogni caso non più diretta secondo l'asse del tubo) la forza elettrica lungo il percorso dei raggi magnetici. In altre parole, s'intuì la necessità, che i raggi magnetici si sviluppassero liberamente in un ampio spazio nel senso in cui decresce il campo magnetico, senza rimanere nel campo elettrico. Ebbe origine in tal modo, la forma di tubo di scarica, che in seguito fu sempre preferita, e che è disegnata nella fig. 24.

Al grande tubo *BD*, posto col proprio asse in coincidenza con quello del rocchetto *R*, è saldato un breve tubo *BC* di 2 a 3 cm. di diametro munito d'un ramo laterale di 1,5 a 2 cm. di diametro e 15 a 20 di lunghezza. Alla estremità di questo ramo laterale è saldato l'anodo *A*, ed il tubo di comunicazione colla pompa, mentre il catodo, avente la forma indicata dalla fig. 16, è posto assialmente rispetto al rocchetto e a questo vicinissimo. Il ramo

Digitized by Google

laterale portante l'anodo, come pure il catodo. potrebbero saldarsi direttamente sul tubo *BD* con soppressione del tubo *BC*; ma la costruzione dell'apparecchio diverrebbe più difficile, e maggiori le probabilità di spontanea rottura. Le dimensioni

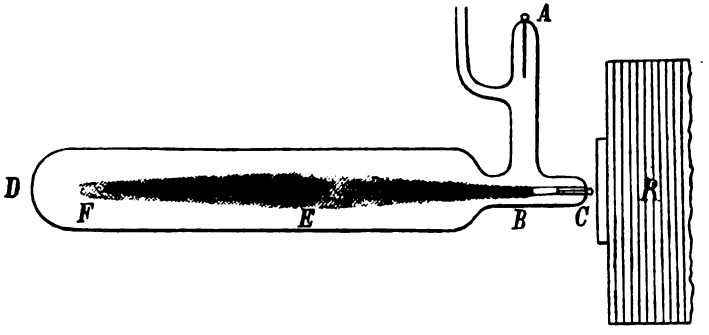

Figura 21.

del tubo *BD*, entro cui si sviluppano liberamente, come vedremo, i raggi magnetici, possono variare moltissimo senza inconvenienti, giacchè basta, per esempio, rarefare un po' più l'aria, perchè un tubo di grandi dimensioni presenti gli stessi effetti d'uno più piccolo, generalmente però con minor intensità luminosa e maggior estensione. La porzione *BCA* costituisce il vero apparecchio di scarica, a cui,

Digitized by Google

senza modificazioni di sorta alcuna, possono congiungersi tubi *BD* di qualunque forma e dimensione, e da essa dipende la riescita delle esperienze. Occorre, per avere buoni risultati, che il ramo laterale contenente l'anodo *A* non sia troppo breve (p. es. l'estremità dell'anodo deve essere a distanza di almeno 8 o 10 cm. dal catodo), e sopratutto è necessario, che la distanza fra il catodo *C* e l'ingresso del grande tubo *BD* non superi 6 o 7 centimetri.

Fra i moltissimi tubi espressamente costruiti per queste esperienze ve ne sono di grandissimi e di piccoli; ne saranno indicate man mano le dimensioni, quando ciò abbia importanza speciale.

Per dare una prima idea dei fenomeni che presentano i tubi della forma (*fig. 24*), valga la breve descrizione seguente, che si riferisce ad esperienze fatte con un tubo *BD* lungo $1^m,55$, di 4,5 centimetri di diametro contenente aria alla pressione di sei decimi di millimetro di mercurio. Lo studio dettagliato dei fenomeni luminosi, che si producono in queste circostanze, verrà fatto però in modo completo soltanto più avanti.

Finchè il campo magnetico è debole, l'apparenza

Digitized by Google

della scarica non è da esso modificata; e mentre nel tubetto che circonda il catodo vedonsi i due strati di luce azzurro-violetta, il tubo laterale è occupato dalla colonna positiva di luce rossa stratificata, e il grande tubo *BD* è perfettamente oscuro. Ma facendo crescere gradatamente l'intensità del campo, non appena tale intensità raggiunge il valore 550 (come si disse altrove s'intende tale valore misurato a un centimetro e mezzo dal rocchetto e sull'asse di questo) il fenomeno muta bruscamente. Il secondo strato negativo sembra allungarsi d'un tratto sino ad *E* (*fig. 24*) in modo da invadere parte del tubo *BC*, pur conservando il suo colore azzurro-violaceo, e al di là della estremità *E* di questo fascio allungato, che si potrà chiamare fin d'ora fascio di raggi magnetici, appare una colonna luminosa *EF* rossa o rosea e in ogni caso del colore stesso della colonna positiva contenuta nel tubo laterale, separata dal fascio *BE* da una regione sfumata e meno luminosa. Questa colonna di luce *EF* diviene rosea, e poi tende al bianco-violaceo, se si diminuisce gradatamente la pressione, ma alla sua estremità *F* mostra sempre un colore un po' violaceo. È quasi superfluo notare,

Digitized by Google

che la colonna positiva contenuta nel tubo laterale, deviata dal campo, appare adagiata e schiacciata contro la parete del tubo. Essa si allunga d'un tratto qualche poco, quando appaiono i raggi magnetici, ed anzi generalmente si ripiega lambendo esternamente il tubetto che circonda il catodo.

Aumentando ancora gradatamente l'intensità del campo magnetico l'intera luminosità *BEF* si allunga sino ad un massimo, per raccorciarsi poi nuovamente. Così, quando nell'esperienza descritta il campo ebbe il valore di circa 1000 unità, la lunghezza della colonna di luce *BEF* fu massima, e andò diminuendo, assai di poco però e assai lentamente, aumentando ulteriormente l'intensità del campo. I due valori numerici 550, e 1000 dell'intensità del campo, e cioè quello pel quale si ha la brusca modificazione nell'aspetto della scarica, e quello pel quale la lunghezza del fenomeno luminoso è massima, mutano per un medesimo tubo al mutare della pressione.

Nella seguente tabella, che si riferisce a esperienze fatte sempre col tubo di cui si sono date or ora le dimensioni, sono notati i detti valori per differenti pressioni dell'aria nel tubo.

Digitized by Google

Pressione dell'aria	Valore del campo pel quale compaiono i raggi magnetici	Valore del campo pel quale la colonna luminosa ha la massima lungh.
mm. 1,72	810	1360
» 1,60	810	1360
» 1,44	810	1265
» 1,02	720	1035
» 0,62	590	1020
» 0,58	550	1000
» 0,44	490	1250
» 0,42	470	1265
» 0,35	410	1670
» 0,22	280	—
» 0,11	135	—

Le curve della fig. 25 hanno per ascisse i numeri della prima colonna, e per ordinate quelli della 2ª (curva I) o quelli della 3ª (curva II). Dall'esame di esse si ricava, fra altro, che operando a pressioni piuttosto basse, per esempio comprese fra 1 e 4 decimi di millimetro, anche con grandi intensità del campo non si raggiunge il massimo di lunghezza del fenomeno luminoso; e siccome lo studio di questo, che sarà riferito nel § 32, è tanto più agevole, quanto più quella luminosità è ampia e sviluppata, così sarà utile in quella circostanza di mantenere entro i detti limiti la pressione nel tubo

Digitized by Google

di scarica. Ma la principale conclusione, che si può trarre delle precedenti misure, è quella dell'esistenza d'una certa intensità di campo per la quale i raggi magnetici si formano colla massima abbondanza;

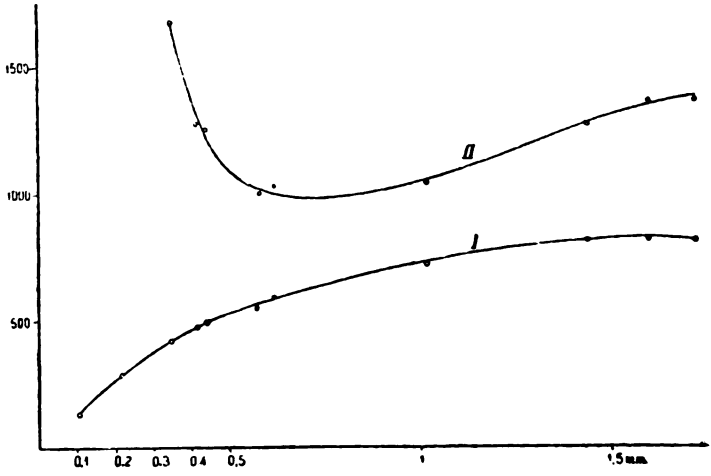

Figura 25.

risultato questo già in altri modi additato, e che sarà ulteriormente confermato.

Se invece d'osservare come varia l'estensione del fenomeno luminoso al variare l'intensità del campo magnetico, si rivolge l'attenzione al potenziale di scarica, si constata un andamento opposto

Digitized by Google

a quello esposto nel § precedente. Ecco infatti il risultato d' una serie di successive misure fatte con diverse pressioni dell'aria e con campo magnetico di circa 1500 unità.

Pressione dell' aria	Potenziale di scarica senza campo magnetico	Potenziale di scarica col campo magnetico
mm. 3,2	1080 volta	1390 volta
» 1	650 »	1060 »
» 0,34	480 »	1100 »
» 0,16	450 »	1220 »
» 0,065	550 »	1950 »
» 0,055	1000 »	2110 »
» 0,043	1310 »	2700 »
» 0,038	1400 »	2950 »

Le curve I e II della fig. 26, la prima delle quali ha per ordinate i numeri della seconda colonna di questa tabella, e la seconda quelli della terza colonna, mentre entrambe hanno per ascisse le pressioni dell'aria segnate nella prima colonna, mostrano a colpo d'occhio, come il campo magnetico aumenti considerevolmente il potenziale di scarica. Onde non dare alla figura soverchia gran-

Digitized by Google

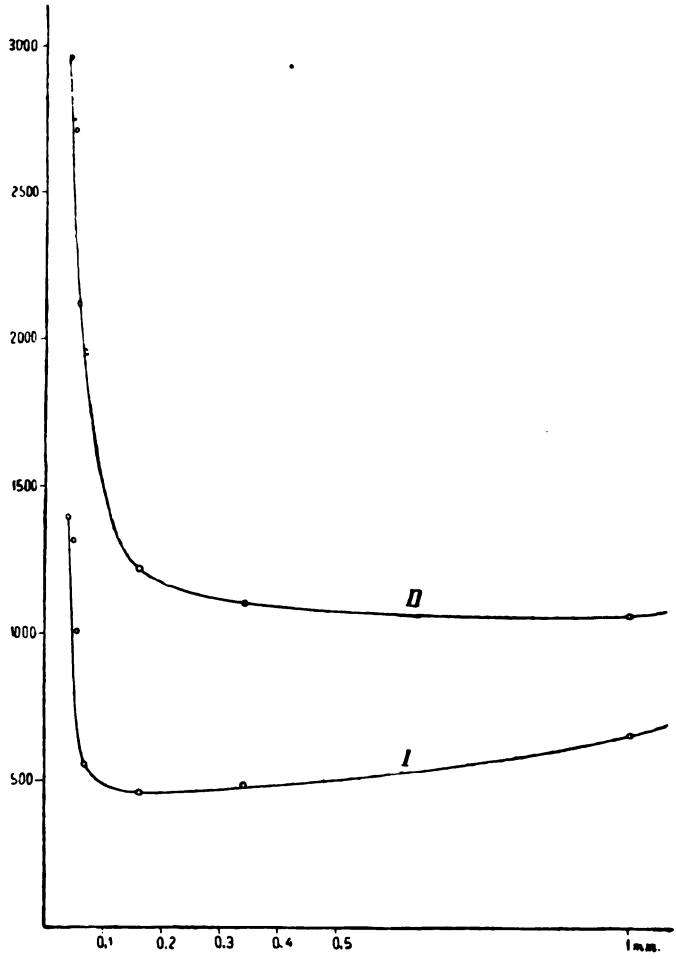

Figura 26.

Digitized by Google

dezza non si è tenuto conto nel costruirla del primo numero di ciascuna colonna.

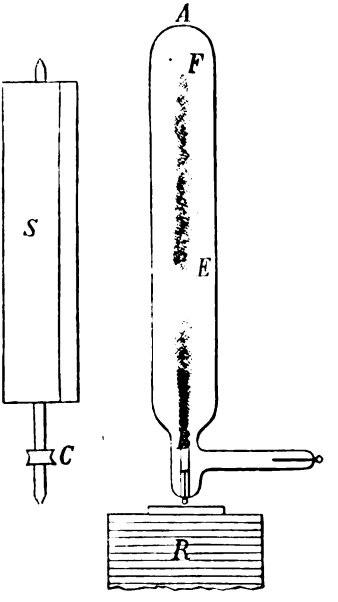

Figura 27.

Questa conclusione induce a supporre, che, per lo meno quando il campo magnetico esiste, il fenomeno di scarica nell'aria rarefatta sia intermittente, e non possa quindi considerarsi come una

Digitized by Google

corrente continua. Ciò risulta nettamente confermato dalla seguente esperienza. Il tubo di scarica *AB* (*fig. 27*) fu disposto verticalmente, insieme al rocchetto *R* produttore del campo magnetico, e a qualche distanza fu collocato il noto apparecchio di Koenig relativo all'analisi del timbro coi risonatori, in modo che l'asse dello specchio a quattro faccie *S*, che si voleva utilizzare, fosse verticale. Dopo aver applicato al detto asse una carrucola *C*, esso venne per mezzo di questa collegato ad un motorino elettrico, capace di imprimere allo specchio una velocità angolare di circa 10 giri al secondo. Non sarebbe stato prudente imprimere allo specchio una maggior velocità; ma per lo scopo in vista quella velocità fu sufficiente.

Osservando entro lo specchio girante la scarica, mentre il rocchetto *R* è in azione, e cioè mentre si veggono entro il tubo sia la colonna luminosa azzurro-violetta *BE* (*fig. 24*), che si è considerata come costituita dai raggi magnetici, sia la colonna di luce rossa *EF*, della cui natura non ci siamo ancora occupati, si riconosce subito, che l'intero fenomeno è regolarmente intermittente, ed anzi che il periodo del medesimo cresce al crescere del campo magnetico.

Digitized by Google

L'esperienza seguente conduce alla medesima conclusione. Un telefono, il cui rocchetto è formato con un filo assai sottile e assai bene isolato, è inserito in una delle comunicazioni fra la macchina elettrica e gli elettrodi del tubo. Accostandolo all'orecchio esso fa udire un debole suono, che diventa di più in più grave, allorchè si fa crescere gradatamente l'intensità del campo.

Generalmente si ritiene, che la scarica luminosa nei gas sia intermittente anche quando il periodo di essa è così breve che non si riesce a metterlo in evidenza; l'esperienza descritta mostra, che il fenomeno è indubbiamente intermittente nel caso della scarica in un tubo ad anodo laterale sotto l'azione del campo magnetico longitudinale.

31. - Esperienze con deboli correnti.

Quando si fa crescere, a partire da zero, l'intensità del campo magnetico, il potenziale di scarica aumenta esso pure nei tubi ad anodo laterale, i quali naturalmente si comportano come tubi ordi-

Digitized by Google

nari posti in direzione trasversale rispetto al campo magnetico. La cosa è tanto ovvia, che non occorrerebbe certo descrivere le esperienze fatte in proposito, se queste non avessero mostrato una interessante particolarità, allorchè vennero eseguite adoperando una corrente di intensità piccolissima.

Queste ultime soltanto verranno dunque descritte. Ma prima merita di essere riferito un fenomeno, che si verifica con qualsiasi intensità di corrente, quando si fa uso degli accumulatori come sorgente della corrente stessa. Se il numero di essi non è troppo grande accade che, facendo crescere gradatamente l' intensità del campo magnetico, il potenziale di scarica giunge ad eguagliare la forza elettromotrice della batteria, e poi a superarla, cosicchè la scarica bruscamente si interrompe. Naturalmente il tubo s' illumina di nuovo quando si interrompe la corrente nell' elettrocalamita generatrice del campo, per ispegnersi non appena essa venga ancora eccitata.

Si osserva altresì questo fatto, che non ha bisogno di una lunga spiegazione, e cioè che quando si chiude il circuito dell' elettrocalamita, prima che spariscano dal tubo e la luce positiva

Digitized by Google

e la luce catodica, vedonsi apparire per un istante i raggi magnetici, e allungarsi alquanto con formazione della luce rossa sul loro prolungamento. Evidentemente questo curioso effetto si deve alla relativa lentezza colla quale il campo raggiunge la sua intensità permanente, allorchè si chiude la corrente nel filo del rocchetto.

D'ordinario la corrente attraverso il tubo di scarica deve avere una intensità da $^1/_4$ a 2 *milliampère* (millesimi di *ampère*), perchè si manifestino in modo ben spiccato i raggi magnetici e sopra tutto il fenomeno luminoso che appare sul loro prolungamento. Con intensità minori, mentre i raggi magnetici si mostrano più brevi e pallidi, la luce rossa o rosea, che appare al di là della loro estremità, diviene essa pure meno appariscente e finisce col non mostrarsi affatto; ma l'influenza del campo magnetico sul potenziale di scarica permane, ed anzi offre un andamento degno di speciale considerazione.

Per esperimentare con corrente debole s' inserirono nel circuito di scarica delle enormi resistenze, e si adoperò un'unica macchina elettrica; più tardi sembrò più comodo far senza delle resistenze e

Digitized by Google

rallentare semplicemente il moto dei dischi della macchina stessa.

Con un motore a corrente continua, del quale mediante un reostata potevasi facilmente regolare la velocità, si fece in modo che i dischi impiegassero da 1 a 5 secondi per ciascun giro. L'intensità della corrente nel tubo di scarica si ridusse così ad essere rispettivamente da 30 a 5 *microampère* (millionesimi di *ampère*). Si misurò allora il potenziale di scarica mediante l'elettrometro, per diversi valori del campo magnetico a partire da zero sino all'intensità massima di 1825 unità, poi si continuò facendo decrescere nuovamente l'intensità del campo. Il risultato che si ottenne fu sostanzialmente identico, finchè l'intensità della corrente rimase fra i limiti indicati più sopra, e perciò basterà qui riferire una sola serie di misure; essa fu eseguita con corrente di circa 22 *microampère*.

Il tubo adoperato aveva la solita forma, e cioè aveva l'anodo in un ramo laterale, e la pressione dell'aria entro di esso era di circa 3 decimi di millimetro.

Digitized by Google

Campo magnetico in unità *C. G. S.*	Differenza di potenziale agli elettrodi in *volta*
0	950
410	1100
1010	1450
1215	1840
1330	1050
1580	1240
1825	2700
1215	1300
1010	1180
910	1500
410	1200
0	960

Le curve della fig. 28, costruite prendendo come ascisse le intensità del campo magnetico e come ordinate i potenziali di scarica, permettono di comprender meglio il significato dei numeri raccolti nella tabella precedente. Colle prime sette coppie di valori si ha l' andamento della curva *ABCD*; colle coppie successive, cioè a campo decrescente, si ha un andamento simile, quello della curva *DEFA*. L' una e l' altra indicano un brusco salto nel potenziale di scarica, insieme ad una specie di isteresi, in virtù della quale la seconda curva non coincide colla prima. Esaminando infatti i risultati nell' ordine stesso col quale furono ottenuti, si riconosce in

Digitized by Google

primo luogo, che il potenziale di scarica aumentò gradatamente sinchè l'intensità del campo oltrepassò di poco 1215 unità, dopo di che si ottenne

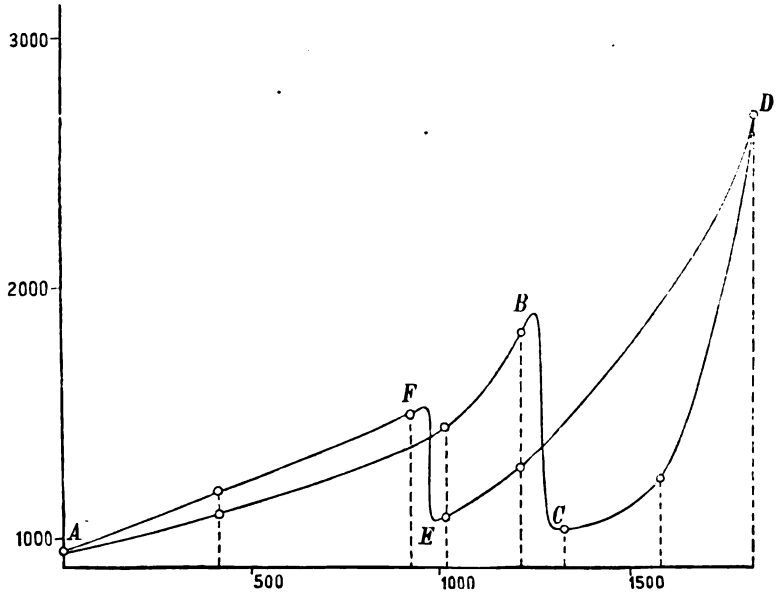

Figura 28.

una brusca diminuzione seguita da un nuovo e più rapido aumento. Facendo poi diminuire il campo si ebbero fenomeni in ordine inverso, ma la brusca variazione di potenziale si verificò per

Digitized by Google

un valore dell'intensità del campo minore di quella alla quale aveva avuto luogo dapprima.

Osservando la luce entro il tubo, la ragione di quella subitanea variazione nel potenziale di scarica appare immediatamente. Nella prima fase *AB* vedonsi i raggi magnetici aumentare in estensione e intensità luminosa sino ad un massimo, dopo del quale tornano a diminuire con molta rapidità sino a sparire bruscamente. L'aspetto della luminosità presso il catodo è allora quasi identico a quello che si osserva in assenza del campo. La brusca diminuzione di potenziale indicata dalla curva *ABCD* ha luogo appunto quando i raggi magnetici spariscono, e del pari il subitaneo aumento nella fase di campo decrescente *DEFA* si manifesta al riapparire dei raggi magnetici.

La sparizione dei raggi magnetici, che ha luogo quando l'intensità del campo giunge ad un certo valore, e che venne già precedentemente rilevata, costituisce evidentemente un fatto di non lieve importanza rispetto alla teoria dei raggi magnetici. Non si vede infatti come esso potrebbe spiegarsi, da chi volesse ancora considerare questi raggi semplicemente come raggi catodici deformati dal campo;

Digitized by Google

mentre, come fu già osservato, è una naturale conseguenza del distruggersi delle coppie giranti per opera di un campo magnetico soverchiamente intenso.

Varie serie di misure analoghe a quella riferita più sopra diedero risultati simili, ma si vide, che aumentando l'intensità della scarica, occorreva un campo magnetico di più in più grande per fare sparire i raggi magnetici. Anzi con correnti della intensità più usuale e con campo magnetico di intensità non eccezionale, non si arrivò a farli sparire, ossia la curva rappresentatrice dei risultati ottenuti si ridusse ad essere simile al solo primo tratto fra *A* e *B* della curva (*fig. 28*).

In compenso si manifestò allora il fatto opposto a quello descritto nelle linee precedenti, e cioè l'apparire subitaneo dei raggi magnetici, quando si accresce a partire da zero l'intensità del campo; mentre sembra che colle deboli correnti la trasformazione dei raggi catodici in raggi magnetici avvenga gradatamente a partire dai più piccoli valori del campo magnetico.

Digitized by Google

32. - Luminosità sul prolungamento dei raggi magnetici.

La speranza di trovare traccia dei ioni positivi e degli elettroni risultanti dalla distruzione dei raggi magnetici non è stata soddisfatta, anche sperimentando coi tubi ad anodo laterale, che quando si è preso in attento esame la colonna di luce rosea o rossa che si forma sul prolungamento dei raggi magnetici, allorchè il tubo di scarica è sufficientemente lungo.

L'aspetto del fenomeno è in complesso indipendente dalle dimensioni del tubo di scaricà, sinchè questo è cilindrico e lungo da 6 a 20 volte il suo diametro. Tuttavia con tubi di grandi dimensioni la luce che vi si forma, quantunque meno intensa, è meglio visibile da lontano, specialmente allorchè essa viene modificata da una calamita, come si dirà in appresso [1]. I due tubi rappresentati nelle

[1] Il signor Richard Müller-Uri di Braunschweig fornisce tali tubi, che egli ha assunto di costruire dietro le mie indicazioni. I tubi di maggior dimensione sono lunghi circa un metro ed hanno 10 centimetri di diametro.

Digitized by Google

fig. 29 e 30, le cui dimensioni possono approssimativamente rilevarsi dalle figure stesse, benchè di proporzioni assai diverse danno luogo a fenomeni quasi identici; sarà su essi che supporremo eseguite le esperienze, di cui segue la descrizione.

Le dette figure sono riproduzioni di fotografie fatte, mentre nei tubi passava la corrente della macchina elettrica, e il rocchetto, di cui si vede a destra la faccia terminale, non era eccitato.

Astrazione fatta dai riflessi delle pareti, causati dalle lampade che illuminavano i tubi durante la posa, non si vede altra luce che la colonna positiva nel ramo verticale contenente l'anodo ed attiguo al rocchetto, e un breve fascio di raggi catodici, diretto secondo l'asse comune del tubo e del rocchetto, e partente dal catodo, che sta a poca distanza dal rocchetto stesso.

Non appena si eccita il campo mandando nel rocchetto una corrente di sufficiente intensità, il tubo si riempie quasi interamente di luce.

La regione meno luminosa, che separa la luce azzurro-violetta dei raggi magnetici dalla colonna rosea che si trova sul prolungamento di questi, è stata male riprodotta nelle fotografie. Essa è nel

Digitized by Google

caso della fig. 31 a pochi centimetri dall' ingresso del tubo largo; nel caso della fig. 32 è circa ad $^1/_4$, partendo da destra, dell'intero fenomeno luminoso.

Tanto il fascio di raggi magnetici, quanto la colonna rossa che si forma sul loro prolungamento, si estendono di più in più, allorchè si aumenta l'intensità del campo magnetico, come pure, a pari intensità di questo, quando si diminuisce la pressione. L'intero fenomeno luminoso, che improvvisamente riempie il tubo quando si crea il campo, può quindi assumere dimensioni considerevolissime. Nulla di più facile, per esempio, di ottenere una colonna di luce rosea nell'intera lunghezza di un largo tubo lungo un metro e mezzo all'incirca.

Se lo spazio offerto alla scarica non è cilindrico, la colonna rosea si modifica corrispondentemente. Così in un tubo come quello della fig. 33 avente una diramazione laterale *ED*, anche questa è invasa dalla luce rosea, se il campo magnetico dovuto al rocchetto *R* è abbastanza intenso.

La colonna di luce rossa ha la sua origine nei raggi magnetici, e li segue quando siano opportunamente spostati. Questo fatto si può dimostrare col tubo rappresentato nella fig. 34 in proiezione

Digitized by Google

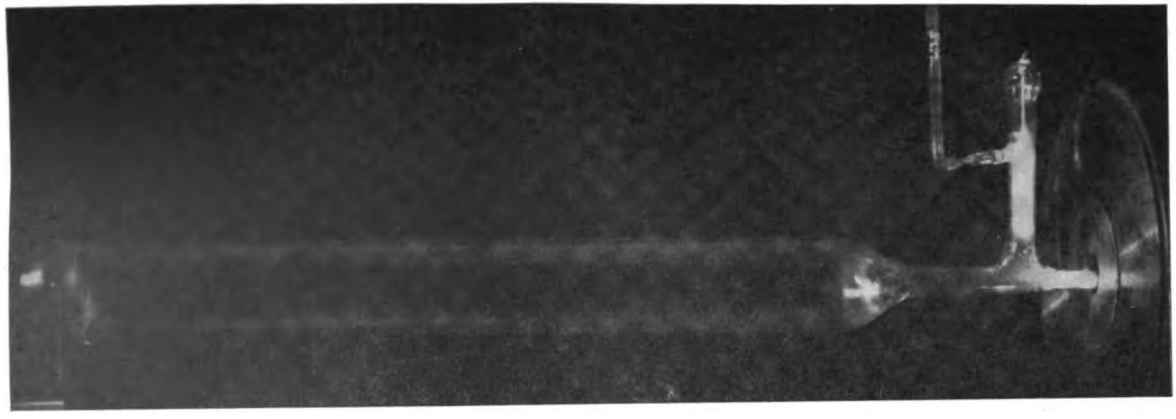

Figura 29 — Scala 1 : 4.

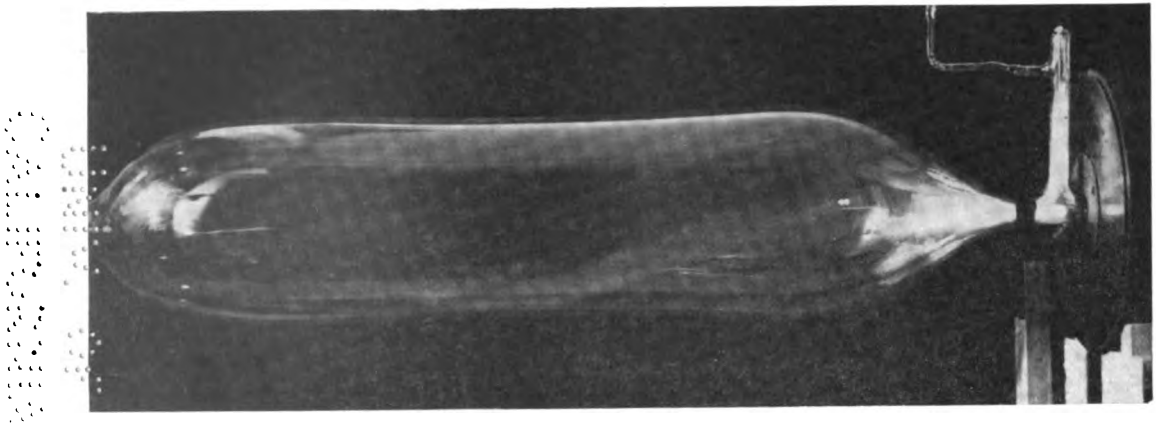

Figura 30 — Scala 1 : 6.

Digitized by Google

Digitized by Google

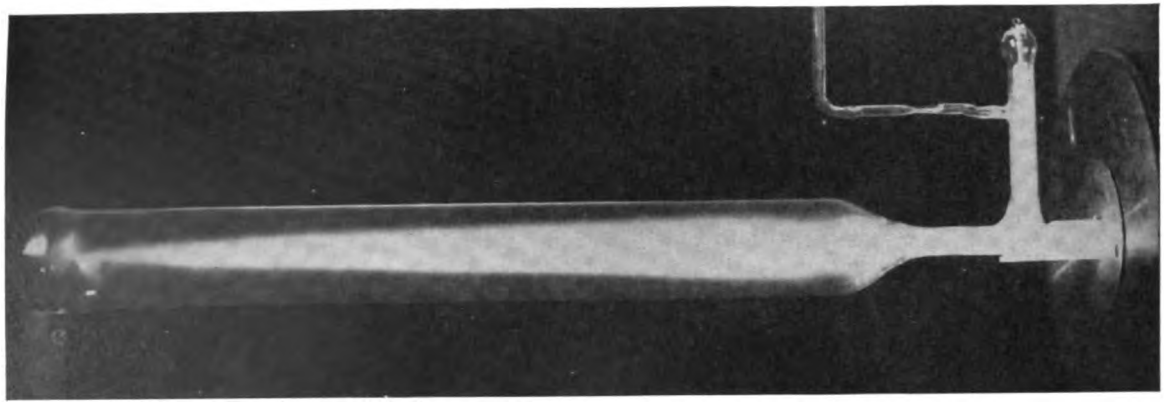

Figura 31.

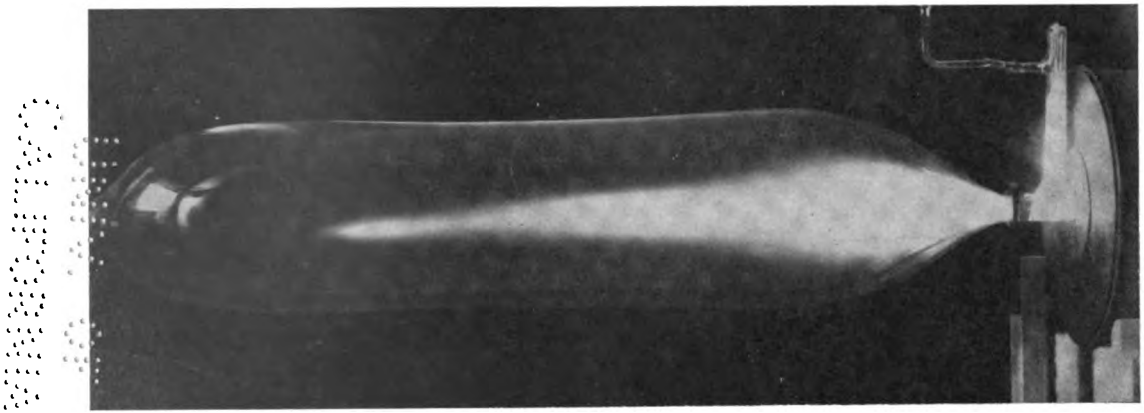

Figura 32.

Digitized by Google

Digitized by Google

orizzontale. Esso consta della solita parte in forma di *T* contenente i due elettrodi *A* e *C*, e di due tubi cilindrici *EB*, *ED*, il primo dei quali coassiale col catodo e col rocchetto *R* e l'altro obliquo. Quando esiste il campo magnetico, e questo non

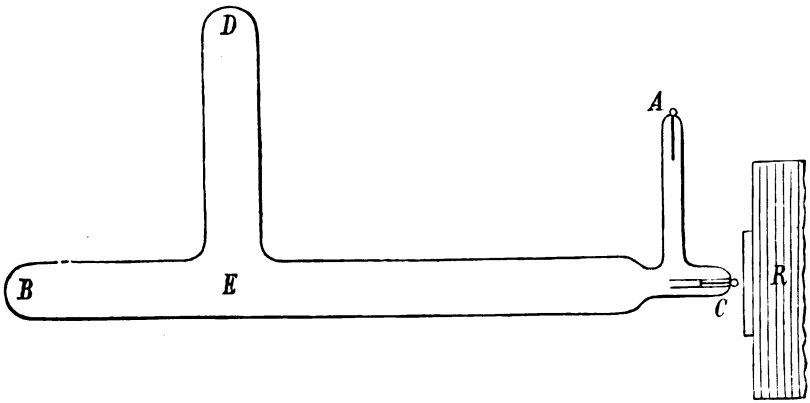

Figura 33.

è troppo intenso, il tubo *ED* resta oscuro, ed il tubo *EB* presenta l'aspetto consueto. Se il campo è assai intenso può accadere, che entrambi i tubi *EB*, *ED*, mostrino le solite luminosità, e cioè che il fascio di raggi magnetici si prolunghi con una lunga colonna di luce rossa tanto nell'uno come nell'altro tubo. Aggiungendo però un secondo

Digitized by Google

rocchetto, il cui polo *P* sia omonimo a quello di *R*, spostandolo a tentativi, e regolando a dovere l' intensità delle correnti nei due rocchetti, si arriva

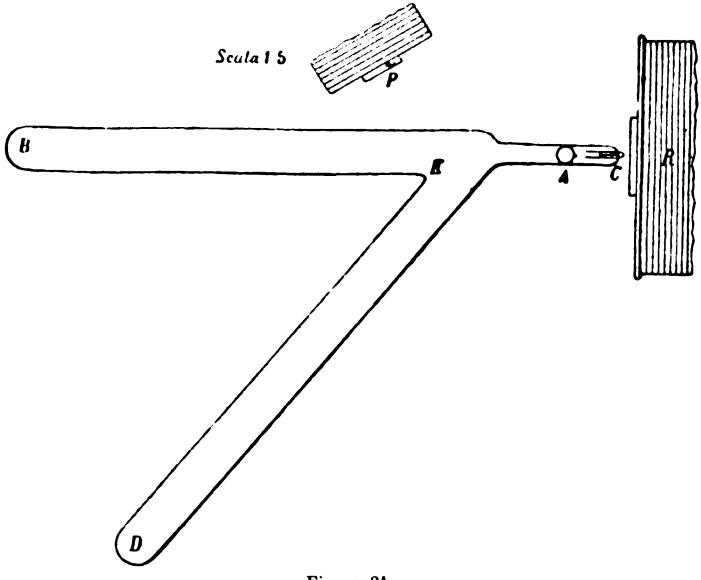

Figura 34.

facilmente a fare sì, che si vegga la colonna rossa soltanto nel tubo *EB*, quando il rocchetto *P* è inattivo, e soltanto nel tubo *ED*, allorchè, essendosi eccitato anche il rocchetto ausiliario, in seguito alla mutata forma pei raggi magnetici, questi, dopo essersi incurvati, si dirigono verso *D*.

Digitized by Google

Quale sia la natura dei fenomeni luminosi descritti risulterà chiaro, studiando l'effetto prodotto su di essi da un polo magnetico accostato lateralmente al tubo di scarica.

33. - Effetti prodotti da un polo magnetico avvicinato al tubo.

Il campo magnetico prodotto dall'elettrocalamita *R* (*fig. 35*) posta all' estremità del lungo tubo *CD*, ha una intensità rapidamente decrescente da destra verso sinistra, cosicchè a qualche decimetro di distanza dal catodo tale intensità è abbastanza piccola, perchè possa trascurarsi di fronte a quella del campo creato da un secondo rocchetto *S* esso pure ad asse orizzontale, ma perpendicolare all' asse del tubo, destinato ad agire sulla colonna di luce rossa *EF*. Questo rocchetto, per maggiore comodità nell'esecuzione delle esperienze, sarà mobile secondo una direzione parallela al tubo.

Supponiamo dapprima che il polo *S* sia collocato presso l'estremo *F* della colonna *EF*.

Digitized by Google

Non appena si eccita il polo *S*, la colonna luminosa *EF* si piega, precisamente come farebbe la luce positiva di un tubo di Geisler, e va a lambire la parete del tubo, o presso la generatrice più alta o presso la più bassa, secondo che il polo *S* è omonimo

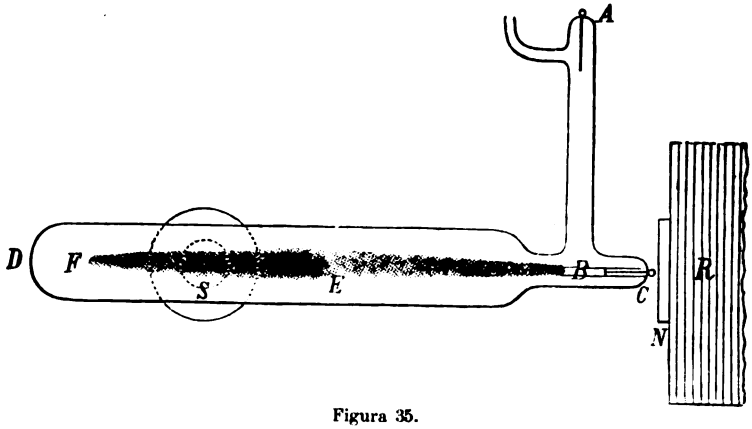

Figura 35.

a quello *N* dell'elettrocalamita *R*, oppure di nome contrario. Le fotografie riprodotte nelle fig. 36 e 37 mostrano questa deformazione della colonna di luce rossa; e per averne una chiara idea basterà confrontarle alle fig. 31 e 32. Il senso della deviazione è tale, che la detta luce mostra di comportarsi esattamente come la colonna positiva di un tubo

Digitized by Google

di Geissler, che avesse l'anodo in *E* ed il catodo verso *D* (*fig. 35*).

Osservando attentamente la colonna luminosa deviata dal rocchetto *S* si riconosce però, che spesso essa sembra modificarsi un po' diversamente da quanto si è detto. Ma è facile rendersi conto di simili piccole irregolarità, che si devono a due cause. Una è che il campo magnetico principale non è rigorosamente nullo nel luogo ove si verifica la deformazione della colonna luminosa; ma tale influenza è trascurabile se il tubo è abbastanza lungo, e il polo *S* non troppo vicino all'estremità *E* della colonna rossa.

L'altra causa di irregolarità consiste in ciò, che il rocchetto *S* esercita un'azione elettrostatica. Questa si può compensare collocando di fronte ad esso la mano o altro conduttore non isolato, in modo che il tubo si trovi fra questo e il rocchetto. Ma la miglior cosa è di collocare dalle due parti del tubo due reticelle metalliche piane, verticali e comunicanti col suolo, e a distanze eguali dal tubo, al quale devono essere parallele. Il rocchetto *S* sta allora al di fuori dello spazio compreso fra le due reticelle, le quali sottraggono perfettamente il tubo

Digitized by Google

ad ogni influenza elettrica proveniente dai corpi circostanti.

Se il campo magnetico generato dal rocchetto principale *R* è abbastanza intenso, perchè la colonna di luce rossa *EF* sia assai lunga, si potrà spostare il rocchetto *S* verso destra, e farlo agire così, non più sulla sua estremità più lontana dal catodo, ma su una porzione della colonna stessa di più in più lontana da *F*, senza con ciò giungere a portare il rocchetto *S* in una regione, in cui il campo di *R* abbia una intensità notevole. Così facendo si osservano i fenomeni seguenti. Dapprima lo spostamento (che supporremo verso il basso) della colonna *EF* diviene meno appariscente; poi ad esso si sovrappone uno spostamento verso l' alto, di guisa che per una certa posizione del rocchetto *S* la colonna rossa si mostra sdoppiata; infine la colonna, per un ulteriore spostamento di *S* verso destra, si piega soltanto all' insù, come vedesi nelle fotografie riprodotte nelle fig. 38 e 39.

Risulta da ciò, che la colonna di luce rossa si comporta, sotto l' azione della elettrocalamita accostata lateralmente, non come la colonna positiva d' un semplice tubo di Geissler, ma in certo

Digitized by Google

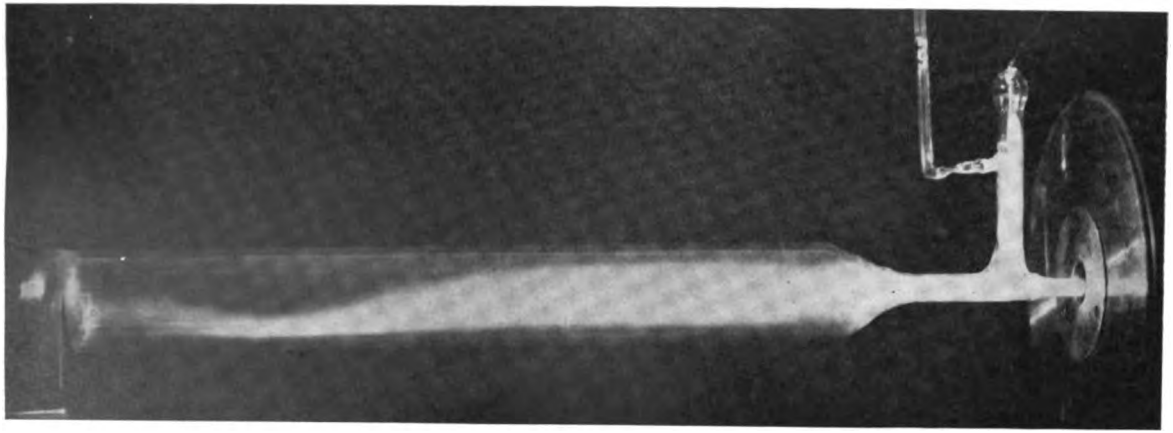

Figura 36.

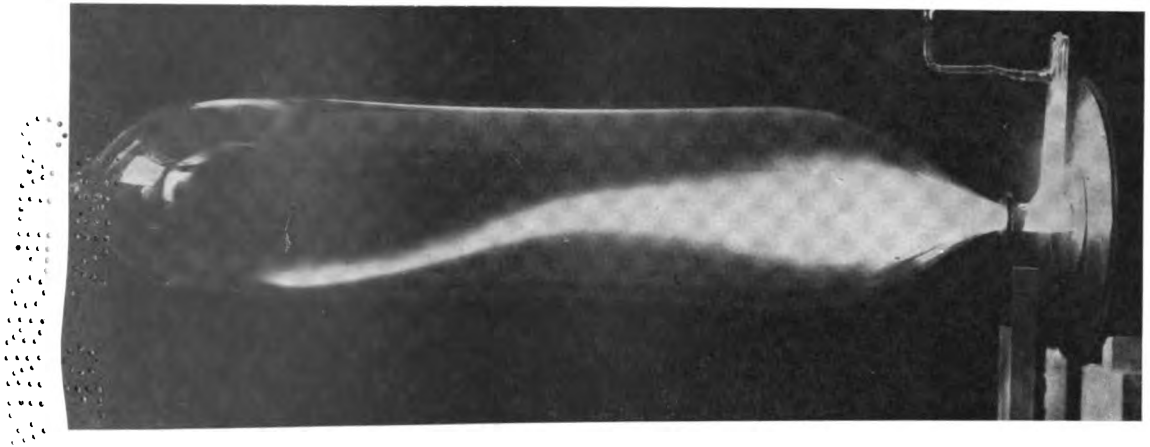

Figura 37.

Digitized by Google

Digitized by Google

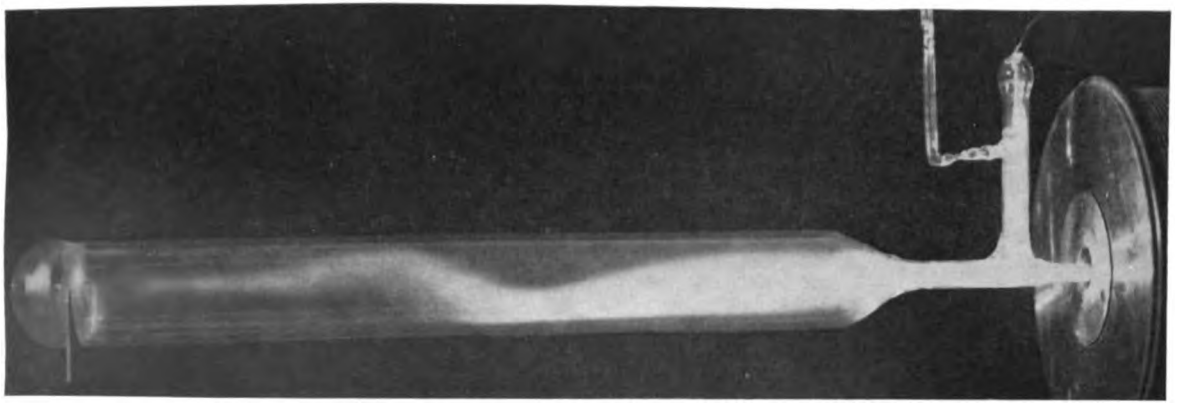

Figura 38.

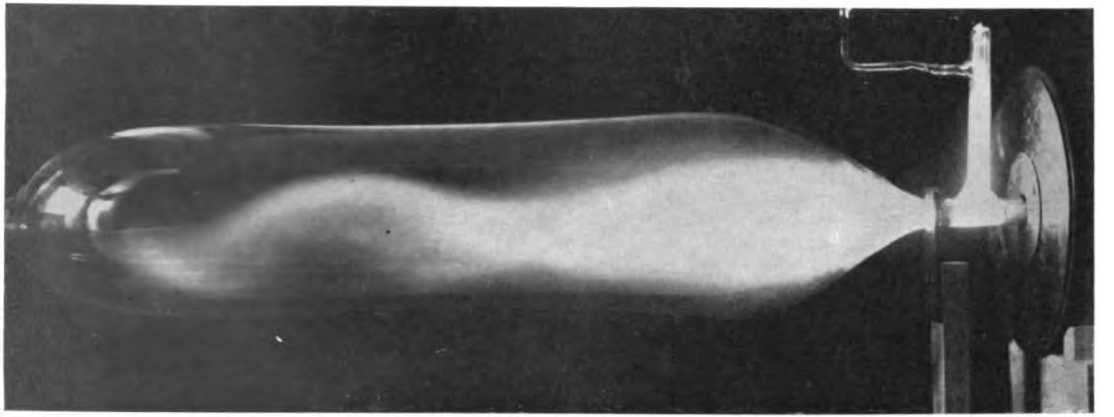

Figura 39.

Digitized by Google

Digitized by Google

modo come se entro il tubo esistesse un invisibile anodo in una certa regione compresa fra *E* ed *F* e due catodi, uno dalla parte di *D* e uno dalla parte di *C*, cioè dalla parte del catodo effettivamente esistente. La figura schematica 40 serve a dare idea di un simile stato di cose. I segni + nella regione *P* stanno a rappresentare un accu-

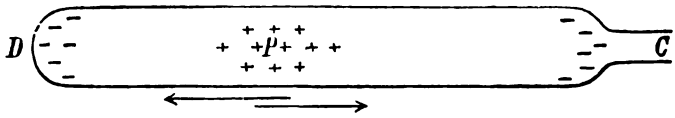

Figura 40.

mulo di elettricità positiva, e le freccie mostrano le due opposte direzioni della corrente (rivelate dalle opposte deviazioni della colonna rossa) dirette verso le regioni ove si hanno cariche negative.

Il modo nel quale i fenomeni si modificano facendo variare la pressione dell'aria o l'intensità del campo magnetico principale, fornisce altri dati assai importanti. Ecco, in breve, quanto accade. Se si diminuisce la pressione dell' aria nel tubo, gli effetti dovuti all'elettrocalamita laterale variano

Digitized by Google

in modo da rendere palese, che la regione *P*, ove sembra esistere un accumulo d'elettricità positiva, si sposta verso *D*. Se senza variare la pressione si aumenta il campo magnetico, si ottiene ancora il medesimo effetto. Perciò si può dire, che la regione del tubo, nella quale si manifesta la presenza d' un anodo virtuale, è tanto più lontana dall' estremità del tubo in cui esiste il catodo, quanto più bassa è la pressione dell'aria e quanto più intenso è il campo magnetico.

Tutto ciò sembra dare una grande apparenza di verità alla supposizione, che la regione in cui sembra accumularsi una carica positiva altro non sia che quella, nella quale pervengono, in virtù della velocità da essi posseduta, i ioni positivi provenienti dalla distruzione delle coppie elettrone-ione positivo costituenti i raggi magnetici, i quali appunto cessano d'esistere allorchè arrivano in una regione *E* (*fig. 35*), nella quale il campo magnetico dovuto al rocchetto *R* non ha più un' intensità sufficiente per impedirne il rapido sfacelo. Ciò è in completo accordo coi fatti osservati, giacchè infatti è ben naturale che quei ioni positivi pervengano in una regione tanto più lontana da *E* quanto più l' aria è rarefatta, in

Digitized by Google

causa della minore frequenza dei loro urti contro le molecole dell'aria; come pure è ben naturale che giungano tanto più lontano quanto più il campo è intenso, a motivo della maggior velocità traslatoria che il campo stesso imprime alle coppie giranti, e sopra tutto in causa della circostanza, che la regione, ove il campo possiede la minima intensità sufficiente alla stabilità delle coppie giranti, si allontana essa pure dal catodo.

Anche certe speciali modalità delle deviazioni prodotte dalla elettrocalamita laterale, che si produssero quando venne adoperato un tubo assai più lungo, parlano in favore della supposizione precedente.

Tale tubo, pur avendo la forma consueta, era lungo complessivamente m. 1,25 da una estremità *C* (*fig. 41*) all'altra *A*, e nella maggior parte *AB* della sua lunghezza aveva il diametro di 4, 5 centimetri. La pressione dell'aria interna, stante la sua grande lunghezza, fu ridotta a essere soltanto 0,15 mm. La colonna luminosa entro il tubo, piuttosto che rossa, era quindi d'un color rosa pallido. Collocato dapprima il piccolo rocchetto *S*, destinato a deformare la colonna rosea, alla distanza $d = 50$ cm. dal

Digitized by Google

catodo, e mandata nel rocchetto *R* una debole corrente, che poi si fece gradatamente crescere di intensità, si notò che, con campo di 410 unità, si aveva una deviazione della colonna rosea indicante che questa di fronte ad *S* costituiva una corrente

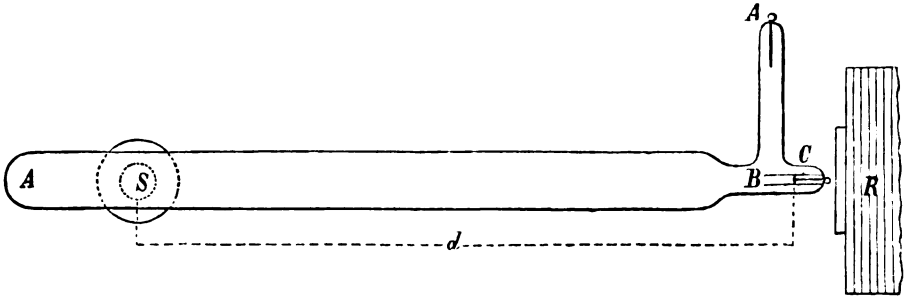

Figura 41.

diretta da destra a sinistra; che con campo di 420 unità la colonna mostravasi sdoppiata di fronte al polo *S*; e che finalmente con campo di circa 430 unità essa era deviata in senso opposto che nel primo caso, e cioè si comportava come una corrente diretta da sinistra a destra. Se ne ricava, che col campo di 420 unità il luogo in cui arrivavano i ioni positivi era precisamente di fronte ad *S*. Si tenne nota della distanza $d = 50$ c. e

Digitized by Google

dell' intensità del campo 420, che è quella per la quale i ioni positivi arrivano alla distanza *d* dal catodo. Queste due cifre sono registrate nella prima linea della tabella seguente. Le linee successive nelle due prime colonne della tabella medesima danno altre coppie di valori, ottenute naturalmente col ripetere l' esperienza dopo aver spostato il polo *S*.

d	Campo magnetico	Campo magnetico
50 cm.	420	1690
70 »	520	1520
80 »	580	1450
90 »	815	1420
100 »	870	1400

Ma per ognuna di quelle posizioni date al rocchetto *S* l'esperienza era continuata ancora, osservando ciò che accadeva seguitando a far crescere il campo magnetico. Si osservò allora questo fenomeno, e cioè che per un certo valore del campo magnetico la colonna rosea veniva deformata nuovamente nel medesimo senso come con debole

Digitized by Google

campo, e si aveva così di nuovo l'indicazione di una corrente da destra a sinistra. I numeri della terza colonna della precedente tabella danno appunto l'intensità del campo nel momento in cui si manifesta questo fenomeno, il quale indica che i ioni positivi si trovano di nuovo fra *S* ed il catodo. Considerando per maggior chiarezza i numeri d'una stessa linea orizzontale, per esempio, la terza, potremo dire, che mentre con campo di 580 unità i ioni positivi giungono alla distanza di 80 centimetri dal catodo, e, crescendo il campo a distanze di più in più grandi sino a raggiungere l'estremità *A* del tubo (ciò che si constata se si sposta l'elettrocalamita *S*), continuando a far crescere l'intensità del campo essi compaiono nuovamente a distanze minori dal catodo, ed anzi colla intensità di 1450 unità essi si mostrano nuovamente alla destra di *S*, cioè a distanza minore di 80 centimetri. Ciò si può esprimere dicendo, che, quando i ioni positivi non solo possono raggiungere il fondo del tubo, ma tenderebbero a portarsi anche più oltre, per una specie di riflessione essi retrocedono e si arrestano in una regione, situata tanto più verso il catodo, quanto più

Digitized by Google

intenso è il campo. Naturalmente quanto maggiore è *d* e tanto più piccola deve essere la differenza fra i due valori del campo magnetico, giacchè minore è la distanza del polo *S* dall' estremità *A* del tubo.

L' interpretazione di questi fatti, evidentemente favorevoli alla esposta ipotesi, potrebbe essere meno semplice di quanto può apparire dalle frasi precedenti. È infatti poco verosimile una vera riflessione o un rimbalzo dei ioni, o almeno, se avviene, essa deve essere accompagnata da altri fenomeni da non trascurarsi. Qualche luce si trarrà in proposito da esperienze descritte più avanti, quelle cioè relative ai fenomeni che si producono appunto in causa della presenza di una lamina solida di fronte al catodo.

Onde mettere in maggior evidenza il modo speciale di comportarsi della luminosità rossa o rosea *EF* (*fig. 24 e 35*), giova metterlo a confronto con quello offerto dalla luminosità azzurro violetta *BE*, che è principalmente costituita dai raggi magnetici, e quindi alle fotografie relative alla prima far qui immediatamente seguire quelle (*fig. 42 e 43*), che mostrano i cambiamenti di forma della seconda.

Digitized by Google

Invece che curvarsi in un piano perpendicolare all' asse del rocchetto deviatore, la luminosità azzurra si piega verso il polo secondario o in senso contrario, secondo che questo è di nome contrario (*fig. 42*), o dello stesso nome (*fig. 43*) del polo del grande rocchetto attiguo al catodo. Tanto nell' uno quanto nell' altro caso il fascio luminoso assume, come già si sapeva, sensibilmente la forma delle linee di forza del campo magnetico dovuto al sistema dei due rocchetti.

Una leggiera modificazione nell' ultima disposizione sperimentale permette di constatare che, in armonia con quanto già fu altrove asserito, i raggi magnetici non seguono che in modo approssimativo le linee di forza. Occorre semplicemente mettere in un unico circuito il rocchetto principale (quello di cui intravvedesi all' estremità destra della fig. 42 e 43 la faccia polare) ed il rocchetto (di cui nelle figure medesime si vede in basso la parte superiore) adoperato per deviare la luce della scarica. Astrazione fatta dal magnetismo residuo dei nuclei di ferro, che non può avere sensibile effetto quando la corrente magnetizzante è molto intensa, basterà far variare tale intensità, perchè

Digitized by Google

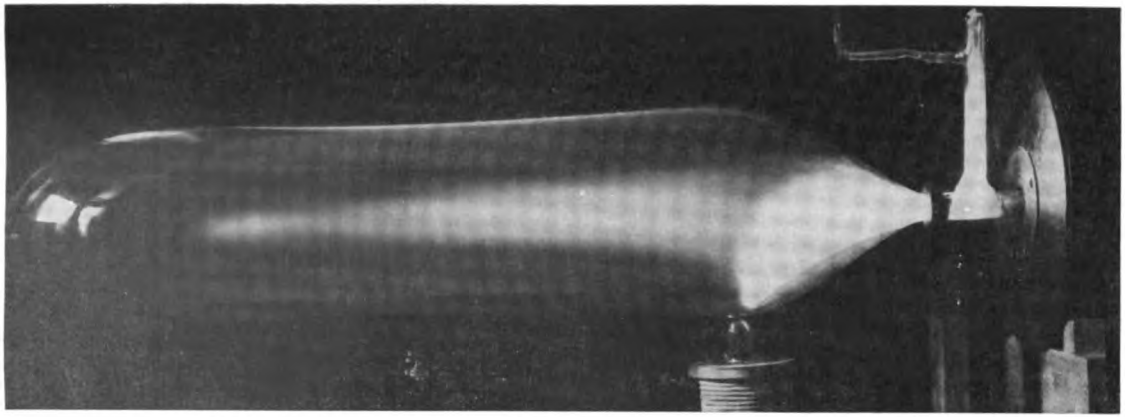

Figura 42.

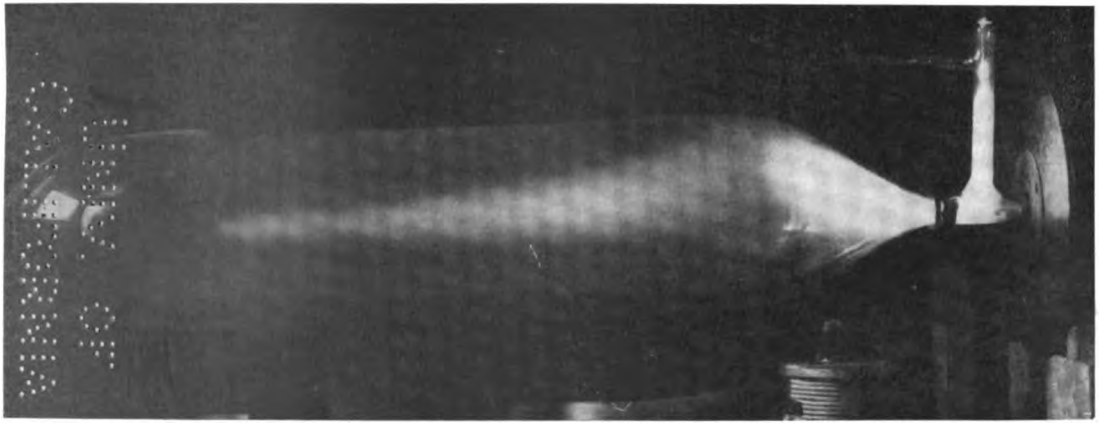

Figura 43.

Digitized by Google

Digitized by Google

varî pure l'intensità del campo magnetico, senza sensibile variazione nella forma delle linee di forza. Ciò essendo, se i raggi magnetici avessero esattamente la forma delle linee di forza, essi non dovrebbero mutare menomamente al mutare del-

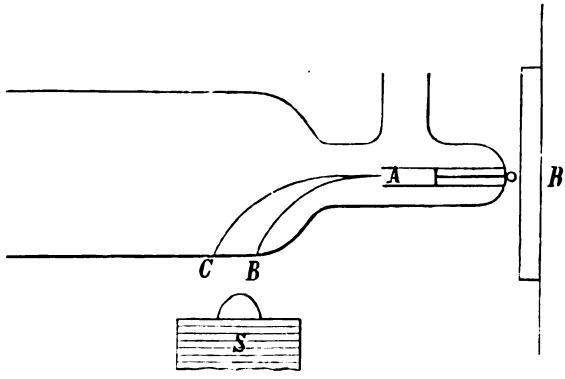

Figura 44.

l'intensità del campo. Ora ciò non si verifica affatto.

E in vero, se i raggi magnetici hanno la forma *AB* (*fig. 44*) quando una corrente di moderata intensità circola nei due rocchetti *R* ed *S*, essi assumono una forma *AC* meno incurvata, e vanno a colpire la parete in un punto *C* più di prima

Digitized by Google

lontano dal catodo, quando alla corrente magnetizzante si dà una grandissima intensità.

Le fotografie riprodotte nella fig. 45 e 46 mettono in evidenza questo fatto. Nel caso della fig. 45 la corrente aveva l'intensità di 8 *ampère*, mentre nel caso della fig. 46 l'intensità della corrente era di 40 *ampère*, e quindi tale, che l'esperienza non poteva prolungarsi oltre i due minuti primi necessari per avere una buona negativa fotografica, senza correre il rischio di abbruciare i rocchetti.

La spiegazione di questo fenomeno è meno semplice di quanto può apparire a prima giunta. Infatti si sarebbe forse tentati di attribuirlo alla inerzia delle coppie giranti, e al comporsi in ogni istante della velocità da esse possedute con quella, diretta verso la regione di minima intensità, che il campo magnetico loro imprime (§ 17). Ma verosimilmente le cose procedono in una maniera assai più complicata; e per persuadersene occorre in primo luogo rammentare, che soltanto quelle coppie ione-elettrone, per le quali il piano dell'orbita dell'elettrone satellite è sensibilmente perpendicolare alla direzione del campo magnetico, possono conseguire per opera di questo una relativa stabilità;

Digitized by Google

se il senso in cui gira l' elettrone è quello dovuto; ed in secondo luogo è necessario riflettere che, se la normale al piano dell' orbita suddetta fa un certo angolo colla direzione del campo, questo tende a far crescere quell' angolo di più in più, ciò che ha per conseguenza la minor stabilità delle coppie giranti e la loro rapida distruzione. Sono dunque le coppie che soddisfano sensibilmente alla condizione indicata, che sole devono essere prese in considerazione. Ora se le linee di forza sono curve, come è appunto il caso quando il campo è dovuto a due poli magnetici, la detta perpendicolarità non potrà conservarsi a lungo, e ciò avrà per conseguenza il distruggersi delle coppie stesse. I ioni positivi e gli elettroni negativi rimasti liberi non tarderanno però a costituire nuove coppie, e di queste pure persisteranno qualche istante solo quelle che non sono troppo lontane dal soddisfare alla condizione di perpendicolarità richiamata più sopra. È dunque verosimile, che i raggi magnetici siano costituiti, non già da coppie giranti che rimangano integre per tutta la lunghezza dei raggi stessi, ma bensì da coppie, le quali lungo i raggi continuamente si sciolgono per ricostituirsi

Digitized by Google

poco dopo. Se queste coppie non fossero dotate d'inerzia, esse si sposterebbero durante la loro effimera esistenza, esattamente secondo le linee di forza magnetica; ma in realtà ciò non potrà accadere in causa della loro velocità acquistata, la cui direzione e grandezza non si possono assegnare, dipendendo esse fra altro dalle collisioni a cui sono esposti gli elettroni ed i ioni, e quindi dalla grandezza e direzione delle velocità da essi possedute al momento in cui un elettrone diviene satellite di un ione. Però in prossimità del catodo, ove le coppie si formano con maggior abbondanza, il campo imprime ad esse una velocità diretta da destra verso sinistra (riferendoci alle fig. 44, 45 e 46); e poichè ivi il campo medesimo ha l'intensità massima, l'effetto di tale velocità riescirà dominante, e farà sì che i raggi magnetici seguano una traiettoria *AC* (*fig. 44*) tanto più differente da una linea di forza, quanto più grande è quella velocità, e quindi quanto più intenso è il campo magnetico, che ne è la causa.

È evidente l'analogia fra questa spiegazione, e quella colla quale si rende conto del fatto, che i ioni nei gas a pressioni non troppo basse seguono

Digitized by Google

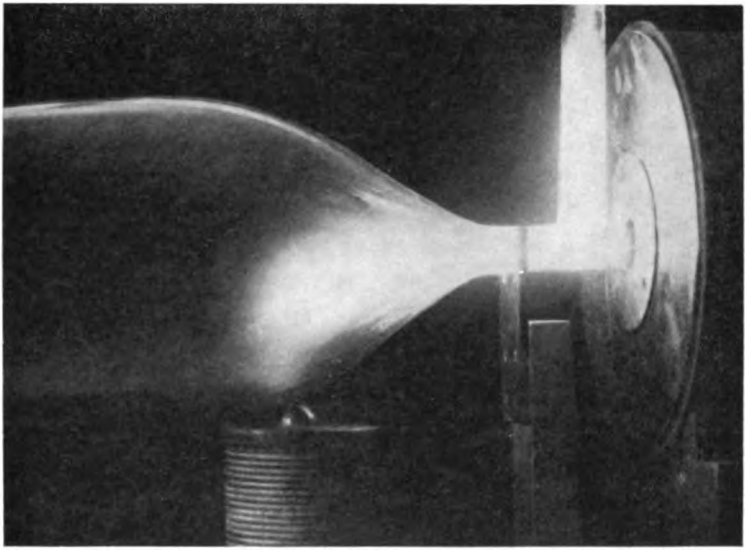

Figura 45 — Scala 1 : 4.

UNIV. OF CALIFORNIA

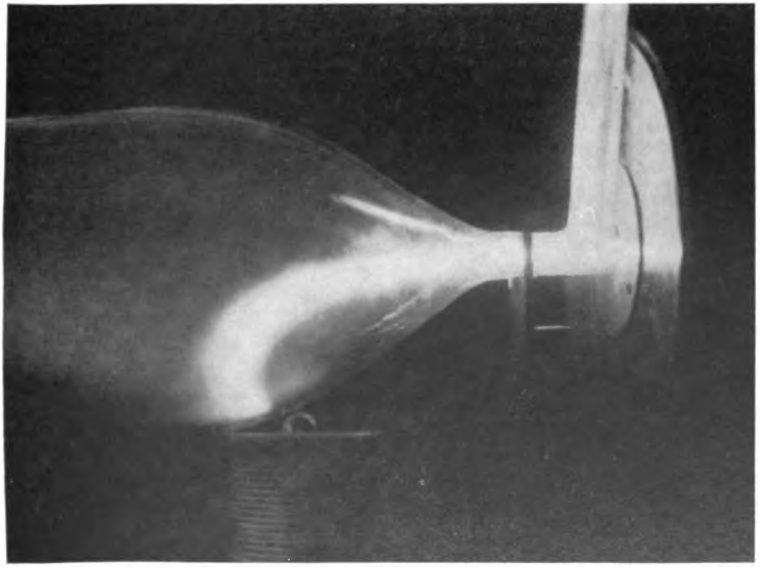

Figura 46.

Digitized by Google

Digitized by Google

approssimativamente nei loro movimenti le linee di forza del campo elettrico, alla cui azione essi si trovano esposti.

34. Interpretazione dei fenomeni descritti in questo capitolo.

Dalle esperienze descritte in questo capitolo, e più particolarmente da quelle dei §§ 32 e 33, risultano dimostrati due fatti principali, e cioè la discontinuità della scarica quando agisce il campo magnetico, e l'accumularsi d' una carica positiva in una certa regione del tubo, la quale poi, funzionando come un anodo, dà luogo periodicamente a scariche, che si manifestano colla colonna di luce rossa sul prolungamento dei raggi magnetici. Si è detto come tale carica positiva sia verosimilmente la manifestazione dei ioni positivi, che provengono dal rompersi delle coppie ione-elettrone costituenti i raggi magnetici; ma bisogna ora cercar di comprendere in qual modo questi fenomeni si producano, e come siano fra loro collegati.

Digitized by Google

A scopo di chiarezza occorre anzitutto comprendere bene, come la scarica si formi nei tubi ad anodo laterale, allorchè non esiste campo magnetico. Ricordiamo a questo scopo, che i due strati di luce negativa presso il catodo sono regioni di ionizzazione, prodotte l'una dagli elettroni respinti dal catodo, l'altra dai ioni positivi dal medesimo attratti, mentre la luce positiva si considera dovuta alla ionizzazione operata dagli elettroni negativi, nati nel secondo strato di luce negativa o provenienti dal catodo e dal primo strato, i quali, dopo aver attraversato lo spazio oscuro, hanno acquistato per opera della forza elettrica la necessaria velocità. Questa, che è la teoria ordinariamente ammessa oggi, vale per un tubo come quello della fig. 19, nel quale cioè l'anodo sta di fronte al catodo; ma per tubi d'altre forme, e in particolare pei tubi adoperati nelle ultime esperienze descritte, i quali hanno l'anodo in un ramo laterale o anche un po' al di dietro del catodo, occorre completarla. Infatti gli elettroni, dopo aver attraversato i due strati negativi tendono, in causa della loro grande velocità, a muoversi entro lo spazio *BD* (*fig. 24*), anzichè deviare e retrocedere

Digitized by Google

verso l'anodo, per andare a generarvi la colonna positiva.

Ma la variante da introdursi nella spiegazione consueta è di piccolo momento. Sembra infatti naturalissimo ritenere, che dapprincipio gli elettroni si muovano appunto verso il tubo *BD*; ben tosto però il gas in esso contenuto e le pareti del medesimo diverranno saturi di elettroni, il campo elettrico resterà modificato come lo sarebbe, se il catodo realmente esistente si estendesse tutt'intorno salvo che dalla parte del tubo laterale, e perciò gli elettroni saranno spinti entro di questo e verso l'anodo. Dato poi che le pareti del tubo *BD* assumano esternamente dai corpi circostanti una carica positiva, nuovi elettroni negativi seguiteranno ad essere sottratti alla scarica principale, e si avvieranno nel tubo *BD*.

Le cose si modificano, qualora la scarica sia resa palesemente discontinua, per esempio lasciando una piccola interruzione lungo uno dei fili di comunicazione fra il tubo e la macchina elettrica. Infatti, negli intervalli in cui non passa la scarica nel tubo, l'elettricità negativa accumulatasi nel tubo *BD* si scaricherà attraverso il gas, ragione per cui, non

Digitized by Google

solo lo spazio *BD*, che senza la detta interruzione rimaneva sensibilmente privo di luce, s'illuminerà più o meno intensamente, ma questa luce si sdoppierà accostando al tubo la calamita laterale, dividendosi in due rami, uno deviato verso l'alto e l'altro verso il basso, ciò che rivela appunto la esistenza di una doppia corrente nei due sensi entro il tubo.

Come si vede, l'effetto che si ottiene da una piccola interruzione sui conduttori di comunicazione ha qualche rassomiglianza con quelli descritti poc'anzi e prodotti dal campo magnetico, e ciò spiega la ragione per cui si deve evitare nelle relative esperienze ogni minima scintilla nel circuito di scarica.

Premesso tutto ciò, cerchiamo di render conto del modo in cui il procedere della scarica entro il tubo resta modificato, quando esiste il campo magnetico.

Parte degli elettroni partiti dal catodo si unirà a ioni positivi, e così si formeranno le piccole stelle doppie respinte dal polo magnetico attiguo al catodo. Gli elettroni ed i ioni positivi, che entrano a formarle, sono necessariamente sot-

Digitized by Google

tratti dal loro compito descritto più sopra, di ionizzare il gas e mantenere così il passaggio della corrente. Ne consegue una diminuzione della quantità di elettricità trasmessa nel tubo, e quindi un aumento della differenza di potenziale agli elettrodi. Però questo stato di cose non può essere stabile, inquantochè l'intensità del campo elettrico cresce, e, come si spiegò nel § 17, questo esercita un'azione contraria alla durata delle coppie giranti. Perciò ad un dato momento la scarica avrà luogo liberamente, dopo di che si avrà un intervallo di sospensione necessario perchè gli elettrodi ricuperino la differenza di potenziale necessaria all' inizio dei fenomeni. Con ciò resta spiegato l'aumento del potenziale di scarica prodotto dal campo magnetico e l'intermittenza del fenomeno luminoso, con periodo tanto più lungo quanto più intenso è il campo magnetico.

Durante la fase in cui si formano i raggi magnetici, questi, come si sa, non possono prolungarsi che sin dove il campo diviene troppo debole per assicurare una sufficiente stabilità alle coppie giranti. Queste dunque si rompono, ed i ioni positivi che ne risultano seguitano a muoversi, sinchè

Digitized by Google

le collisioni colle molecole del gas finiscono per arrestarli. Non importa stabilire ciò che accade degli elettroni provenienti dallo sfasciarsi delle coppie giranti; non occorre cioè sapere se essi pervengano o no più lontano che non i ioni positivi. Ciò non interessa perchè, per quanto si è detto, degli elettroni negativi si trovano certamente ovunque entro il tubo e quindi anche dalle due parti dell'anodo virtuale costituito dall'accumularsi dei ioni positivi. Nella fase di sospensione della scarica principale quelle cariche opposte si neutralizzano generando la colonna luminosa rossa, sdoppiata o deviata in un senso o nell'altro, quando ad essa si accosta un polo magnetico.

Da questa spiegazione consegue, che la colonna rossa nelle esperienze descritte costituisce un fenomeno, che si alterna cogli altri fenomeni visibili nel tubo di scarica, od almeno che dura alcun poco dopo la loro scomparsa. Disgraziatamente non è stato possibile assicurarsene in modo soddisfacente mediante l'osservazione nello specchio girante (*fig. 27*), sia per l'insufficiente velocità angolare di questo, sia per la scarsa intensità luminosa nel tubo di scarica.

Digitized by Google

Questo modo di spiegare i fenomeni presentati dai tubi ad anodo laterale potrà forse essere modificato in avvenire, ma un fatto, che difficilmente si potrebbe spiegare da chi volesse considerare i raggi magnetici come raggi catodici, sembra ad ogni modo dimostrato dalle descritte esperienze: quello cioè dell'accumularsi di ioni positivi ad una certa distanza dal catodo.

Che realmente il campo elettrico presso l'elettrodo influisca sul regime di scarica e sulla produzione dei raggi magnetici, si può desumere dalla seguente osservazione, che fu fatta un gran numero di volte. Abbia il campo magnetico generato dal rocchetto *R* (*fig. 24 e 35*) una intensità, che superi di poco quella minima per la quale compaiono i raggi magnetici, e si tocchi col dito la parete esterna del tubo di scarica. Se il punto toccato è assai vicino al catodo ed opportunamente scelto, subito l'aspetto della scarica muta, ed esso diviene quel medesimo che si presentava prima di far agire il campo magnetico, o in certi casi quello che presenterebbe sotto l'azione di un campo assai meno intenso di quello che realmente esiste. Il nuovo aspetto della scarica certe volte permane qualche tempo

Digitized by Google

dopo aver allontanato il dito dal tubo. Evidentemente si tratta dell' effetto prodotto dal modificarsi del campo elettrico presso il catodo, e verosimilmente dal divenire esso più intenso, tanto da ostacolare la formazione o la stabilità delle coppie giranti elettrone-ione positivo. Ciò in linea generale, in quanto che l' effetto che si osserva toccando il vetro su vari punti tutti egualmente vicini al catodo è spesso differente, cosicchè il chiarire questi fenomeni richiederà uno studio speciale.

Un fatto già accennato di volo potrebbe sembrare difficile ad accordarsi colle spiegazioni date dianzi, quello cioè del rimanere visibile, quantunque spesso impallidita, la colonna di luce rossa entro il tubo, quando i raggi magnetici vengono fortemente deviati sin contro la parete mediante un polo magnetico, come mostrano le fig. 42 e 43. Sembrerebbe infatti che, ove i raggi magnetici urtano la parete, essi dovessero distruggersi, e che i ioni positivi e gli elettroni rimasti liberi dovessero essere proiettati in ogni direzione, e quindi non dar più origine alla colonna di luce rossa. Ma si vedrà più oltre, che i ioni positivi e gli elettroni, resi liberi dall' incontro dei raggi magnetici con un corpo solido,

Digitized by Google

si accoppiano nuovamente, almeno in parte, quando si trovano in un campo magnetico di intensità sufficiente. I nuovi raggi magnetici così costituiti coi residui di quelli distrutti, e che sono in alcuni casi perfettamente visibili, andranno a distruggersi più oltre entro il tubo, e a dar luogo così alla formazione della colonna rossa. Si comprende dunque come questa resti visibile nelle esperienze delle fig. 42 e 43.

Digitized by Google

Digitized by Google

Capitolo IX.

PRODUZIONE ED EFFETTI DEI RAGGI MAGNETICI

35. - Trasformazione dei raggi positivi in raggi magnetici.

Se realmente i raggi magnetici constano di sistemi neutri ione-elettrone, alla loro formazione debbono concorrere a pari titolo gli elettroni ed i ioni positivi, e come possono prendere origine da raggi catodici, devono pure potersi formare per trasformazione di raggi di ioni positivi, quando questi trovino sul loro cammino, per esempio in seguito a ionizzazione del gas, gli elettroni occorrenti.

L'apparecchio semplicissimo, che venne adoperato dapprima allo scopo di verificare possibilmente questa previsione, è rappresentato nella fig. 47. Esso consta d'un tubo *AB* lungo circa 40 centimetri e di 4 centimetri di diametro nel tratto *AC*, e di 3 nel tratto *BC*, congiunto ad un cannello *BD* lungo 30 centimetri e grosso poco più di 2,

Digitized by Google

onde possa liberamente introdursi nel rocchetto *R*. L'anodo è all'estremo *D*, mentre il catodo è costituito da un disco d'alluminio *C*, che chiude la sezione del tubo. Questo disco ha nel centro un forellino di un millimetro di diametro, dal quale escono, dirigendosi verso *A*, i raggi-canali, allorchè la corrente di scarica attraversa il tubo, l'aria del quale ha la pressione di circa un cinquantesimo di millimetro.

Se mediante una corrente mandata nel filo del rocchetto *R* si eccita il campo magnetico, il fascio di raggi-canali sembra non modificarsi affatto; ma se, mentre agisce il rocchetto, si avvicina lateralmente

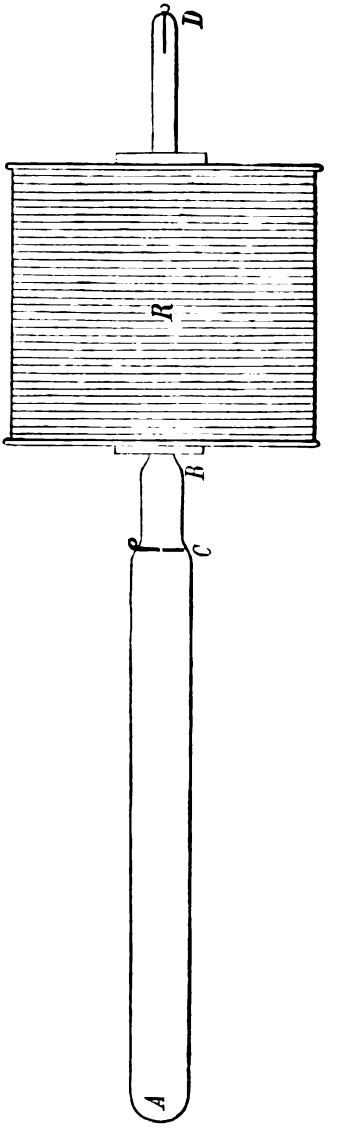

Figura 47.

Digitized by Google

al tubo un polo magnetico, subito il fascio luminoso si sdoppia, separandosi da esso un nuovo filetto luminoso curvo verso il polo o in senso contrario, secondo che il polo stesso è eteronimo o omonimo col polo di *R* prossimo al catodo. Questo filetto luminoso incurvato ha dunque i caratteri di un fascio di raggi magnetici.

Lo si può vedere anche senza l'aiuto del polo ausiliario, se l'apparecchio non è di forma simmetrica o non è coassiale col rocchetto *R*. Anzi basta spostare leggermente il tubo descritto e inclinarlo alcun poco (ciò che è possibile fare in virtù della circostanza, che il diametro del cannello *BD* è minore di quello del rocchetto *R*), perchè l'esperienza sia in certo modo più completa, e si presenti come segue. Il filetto luminoso formato dai raggi-canali non è più in esatta coincidenza coll'asse di simmetria del campo magnetico, e quando questo entra in azione, mentre il fascio di raggi-canali resta inalterato o quasi, vedesi sorgere un nuovo fascio luminoso, partente esso pure dal foro del catodo e diretto secondo il tubo di forza passante pel foro stesso. Questo nuovo fascio è costituito dai raggi magnetici, e può essere attratto o respinto

Digitized by Google

ed incurvato, avvicinando ad esso un nuovo polo magnetico.

La fig. 48 riproduce una fotografia del tubo descritto, eseguita mentre era attraversato dalla scarica, sotto l'azione, non solo del grande rocchetto (di cui vedesi a destra la faccia terminale), ma anche d'un altro rocchetto, posto al di sotto del tubo e presentante a questo un polo di nome contrario a quello del polo del grande rocchetto rivolto verso il catodo. Ad onta di alcuni piccoli difetti, come sarebbe quello costituito dalle pieghe di una lamina di mica accortocciata che tiene in posto il catodo, questa fotografia lascia vedere i due fasci luminosi partenti dal foro del catodo, e cioè il fascio di raggi-canali diretto sensibilmente secondo l'asse del tubo, e quello dei raggi magnetici, avente sensibilmente la forma di un tubo di forza.

Osservati direttamente, i due fasci di luce mostrano colori un poco diversi, giacchè mentre il secondo è come al solito azzurro-violaceo, il primo ha la tinta giallo-rosea..

Se poi si fa crescere gradatamente l'intensità del campo magnetico, vedesi variare qualche

Digitized by Google

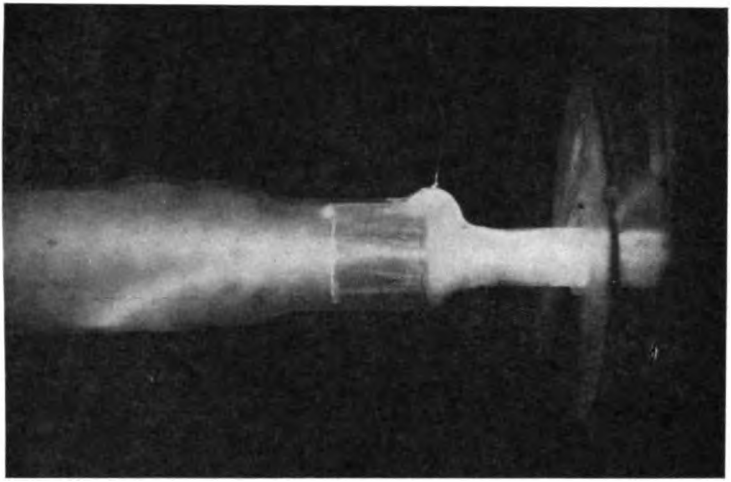

Figura 48.

UNIV. OF CALIFORNIA

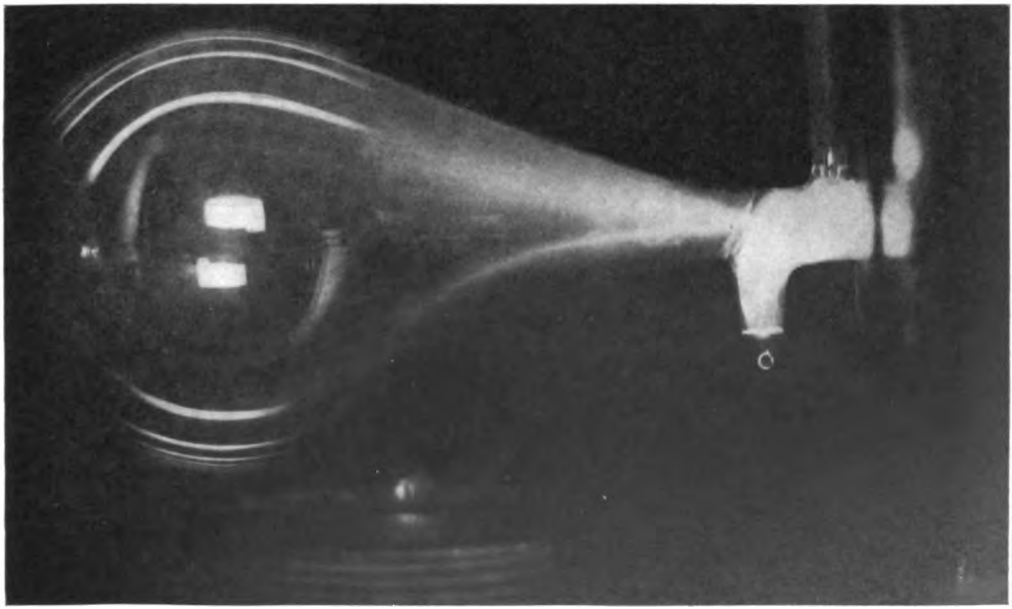

Figura 50.

Digitized by Google

Digitized by Google

poco lo splendore dei due fasci, giacchè impallidiscono i raggi-canali e divengono meglio visibili i raggi magnetici. Questa osservazione, che meglio si fa con un altro tubo di scarica che sarà descritto fra poco, induce a credere, che i ioni positivi in movimento, che fanno parte dei raggi-canali, divengano nuclei dei sistemi ione-elettrone costituenti i raggi magnetici, assumendo come satelliti degli elettroni di varia provenienza. Questi elettroni possono essere quelli resi liberi, allorquando i ioni positivi ionizzano per urto gli atomi gassosi; possono altresì essere emessi dalla faccia del catodo rivolta verso sinistra nella fig. 47.

Se si tocca colla mano la parete del tubo fra *A* e *C*, il fascio di raggi magnetici diviene più brillante; e ciò sta ad indicare, che quella emissione di elettroni ha luogo effettivamente, giacchè col contatto della mano si rende la parete suscettibile di ricevere nuove cariche negative.

Questo effetto, prodotto col toccare esternamente il tubo, più non si produce, se il catodo durante l'esperimento è tenuto in permanente comunicazione col suolo. In questo caso non è più facilmente ammissibile un'emissione di elettroni dalla faccia

Digitized by Google

del catodo volta a sinistra, e perciò è a credere, che gli elettroni satelliti siano forniti anche per via di ionizzazione del gas.

Le esperienze narrate nel § 28 furono suggerite appunto dai risultati precedenti; e poichè da esse risulta, che sotto l'azione di un campo magnetico di crescente intensità la carica positiva trasportata dai raggi-canali diminuisce di più in più, così esse costituiscono una nuova prova in favore della trasformazione dei raggi-canali in raggi magnetici.

È evidente, che la teoria generalmente ammessa, secondo la quale i raggi magnetici altro non sarebbero che raggi catodici strettamente avvolti attorno alle linee di forza magnetiche, non potrebbe spiegare questo nuovo caso di formazione dei raggi magnetici.

Poichè era utile sperimentare sopra un fascio di direzione diversa da quella del campo magnetico, venne costruito un nuovo apparecchio, quello cioè della fig. 49. Esso si compone di due parti: e cioè del tubo *CA* introdotto nel rocchetto e portante in *A* l'anodo, e del recipiente periforme alla sinistra di *C*, comunicanti fra loro soltanto per mezzo d'un foro praticato nel mezzo della parete obbliqua di vetro *ab*. Contro di questa è applicato il catodo *C*, avente nel

Digitized by Google

centro un forellino *o* di un millimetro di diametro, che corrisponde al foro del diaframma di vetro *ab*.

Il fascio dei raggi-canali si mostra in *om* in direzione perpendicolare al piano del catodo; ma

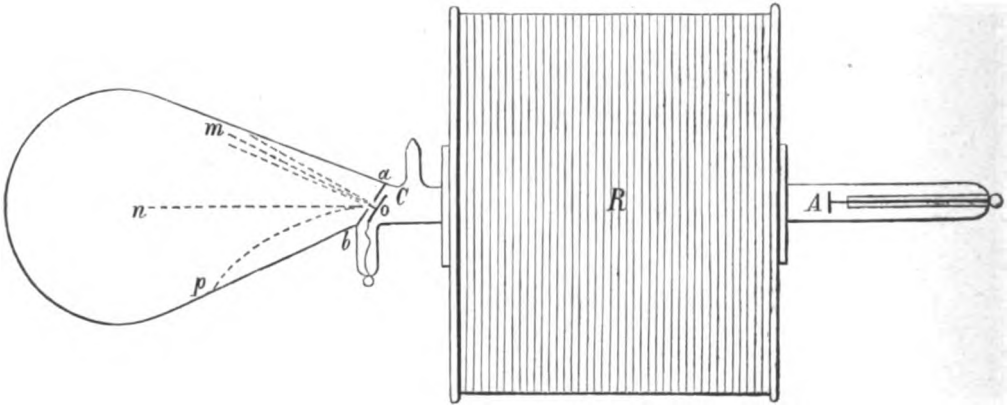

Figura 49.

se si eccita il campo, compare subito un fascetto di raggi magnetici *on* diretto sensibilmente secondo l'asse del rocchetto. Accostando poi all'apparecchio una massa di ferro, che assume una polarità opposta a quella del polo vicino a *C*, oppure il polo di un rocchetto, il fascio *on* devìa. Se il polo di nome contrario a quello vicino a *C* è collocato al disotto, il fascio di raggi magnetici prende la forma *op*.

Digitized by Google

Nella fotografia della fig. 50, veggonsi appunto i fasci *om*, *op* della fig. 49.

Con questo nuovo apparecchio si constata, meglio che col precedente, una lieve modificazione nella forma del fascio *om* (*fig. 49*) prodotta dal campo magnetico. Si tratta evidentemente della deviazione magnetica dei ioni positivi, che insieme ad atomi neutri costituiscono i raggi-canali.

Alcuni tentativi fatti per constatare se, come i raggi-canali, anche i raggi anodici (§ 13) si possano trasformare in raggi magnetici, non hanno dato finora nessun risultato sicuro. Il fatto constatato alla fine del § 28, d'una diminuzione prodotta dal campo magnetico nella carica positiva trasportata dai raggi anodici, sembrerebbe additare quella trasformazione; ma il fatto stesso, preso da solo, non può costituire una prova sufficiente.

36. - Fenomeni prodotti quando i raggi magnetici incontrano un solido.

Quando i raggi magnetici incontrano un corpo solido sulla loro via, essi debbono verosimilmente restare distrutti, ed i ioni ed elettroni che li costi-

Digitized by Google

tuivano, rimanere liberi. Ai ioni positivi risultanti dalla distruzione dei raggi magnetici pel loro urto sulla parete, si deve la formazione della colonna di luce rossa, che persiste nei tubi fig. 42 e 43 anche dopo aver deviati i raggi stessi col secondo rocchetto, come si è già affermato più sopra.

Se però, nel luogo ove i raggi magnetici si distruggono, il campo magnetico ha una intensità abbastanza grande, accade, che i ioni positivi e gli elettroni negativi rimasti liberi ricostituiscano le coppie giranti, le quali, in virtù delle velocità possedute da quelli, formano veri raggi magnetici. E come gli elettroni sembrano riflessi, quando i raggi catodici colpiscono obliquamente un corpo solido, in causa del fatto, che il numero degli elettroni che si muovono nella direzione della riflessione è maggiore che nelle altre, così i nuovi raggi magnetici sembrano costituire una riflessione di quelli, dalla distruzione dei quali traggono l'origine loro. È così che si potè rendere conto del doppio fascio luminoso nella esperienza della fig. 10.

Con un tubo, destinato ad altri scopi, venne incidentalmente osservato un simile fenomeno, però con qualche interessante particolarità. Tale tubo

Digitized by Google

(*fig. 51*) ha la forma della lettera *T*, ed è aperto alle due estremità *B*, *C*, mentre la *A* è chiusa e porta l'anodo. In *B* e *C* sono adattati a smeriglio due tubi chiusi, il secondo dei quali porta il

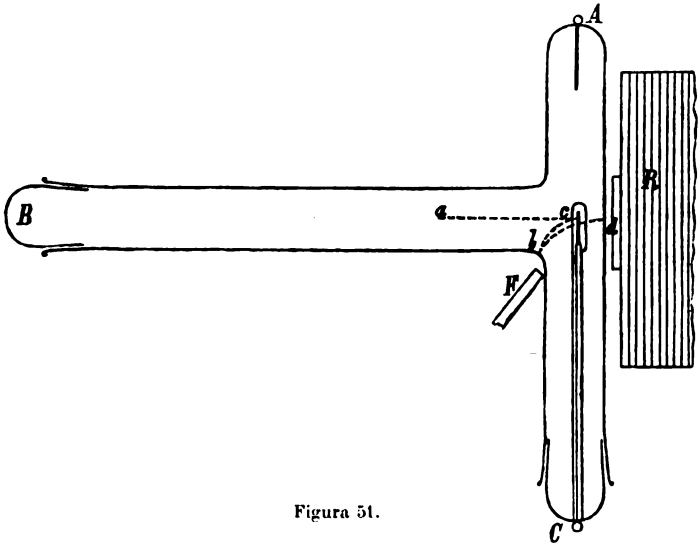

Figura 51.

catodo, che ha forma indicata dalle fig. 14 e 15. La mobilità di *C* permette di dirigere il fascio catodico *ca* o orizzontalmente, e cioè secondo l'asse del rocchetto *R*, o in qualunqne altra direzione compresa nel piano verticale passante per l'asse medesimo. La chiusura a smeriglio *B* servì poi in

Digitized by Google

altre esperienze per introdurre nell'apparecchio vari corpi destinati ad essere colpiti dai raggi magnetici.

Il catodo, mediante la rotazione del tubo *C*, era stato collocato in modo, che i raggi catodici erano diretti circa a 45° dalla verticale e verso sinistra. Dopo avere eccitato il campo magnetico essi assunsero l'aspetto di un filetto luminoso di forma elicoidale, mentre una luminosità di forma tubulare per essa passante era costituita dai raggi magnetici. Accostando una sbarretta di ferro *F*, tanto il detto fascio quanto l'elica catodica in esso contenuta si piegarono assumendo una forma *cb*. Apparve allora un nuovo fascio di raggi magnetici, più pallido del primo e da esso ben distinto, il quale partiva da *b* ed andava a colpire la parete in *d*, e cioè in prossimità del polo del rocchetto *R*. Tanto la porzione di parete *b* colpita dal fascio principale e dal filetto catodico, quanto la regione *d* colpita dal fascio secondario, mostravano la consueta viva fosforescenza verde. Qualche volta apparve anche dentro il fascio *bd* un'elica luminosa, però assai pallida. Essa non sembra sia stata osservata da Hittorf.

Digitized by Google

Per riconoscere meglio la natura del fascio luminoso *bd* bastò accostare una seconda sbarretta di ferro, senza spostare la *F*. Anch' essa assumeva per influenza del rocchetto un polo magnetico di nome contrario a quello presentato al tubo dal rocchetto stesso, e spostava e deformava i due fasci *cb* e *bd*. Anzi il fascio *cb* appariva attratto ed il fascio *bd* respinto. Quest' ultimo si comportava quindi come avrebbe fatto un fascio di raggi magnetici partente da un catodo posto in *b* sotto l'azione del campo magnetico dovuto al rocchetto *R*.

Come si è già avuto occasione di dire, mal si comprenderebbe una vera riflessione dei raggi catodici e dei raggi magnetici, mentre appare cosa naturalissima, sia che nuovi raggi catodici si formino per rimbalzo degli elettroni o per nuova emissione di essi a partire dal corpo colpito dai raggi catodici principali, sia che nuovi raggi magnetici prendano origine da un corpo colpito dal fascio principale di raggi magnetici, utilizzandosi a ciò gli elettroni ed i ioni positivi risultanti dal distruggersi delle coppie giranti pel loro urto contro il corpo solido.

Col tubo della fig. 51, oppure con un tubo della solita forma (*fig. 24*), munito però all' estremità di

Digitized by Google

una chiusura a smeriglio come la *B* della fig. 51, si possono studiare i fenomeni che si producono per l' urto dei raggi magnetici contro vari corpi, i quali vengono a questo scopo introdotti nel tubo, profittando della chiusura smerigliata. Tale studio è ancora molto incompleto; pel momento interessa riferire soltanto, che i raggi magnetici sembrano attraversare delle lamine solide. Infatti, introducendo nel tubo di scarica un anello d' ottone su cui era tesa una sottilissima foglia d' alluminio, in modo che questa rimanesse verticale di fronte al catodo, si vide dapprima, e cioè quando non esisteva il campo magnetico, il fiocco luminoso partente dal catodo nettamente troncato dalla foglia metallica. Invece, non appena il campo veniva eccitato, il fascio di raggi magnetici si prolungava, quantunque affievolito, al di là della foglia, se questa non era soverchiamente lontana dal catodo. La minor intensità luminosa dei raggi al di là della foglia metallica riescì meglio visibile quando, invece d' una semplice foglia, se ne adoperarono due sovrapposte, allo scopo di sopprimere o quasi l' effetto dei minimi forellini, che sogliono trovarsi nelle foglie stesse.

Digitized by Google

Quando a queste fu sostituito un dischetto di lamina d'alluminio di poco meno di 15 centesimi di millimetro di spessore, il fascio di raggi magnetici parve arrestarsi completamente sul metallo senza attraversarlo.

Sembra assai poco verosimile, che le coppie giranti elettrone-ione positivo possano attraversare la foglia metallica senza essere distrutte; per cui è invece a ritenersi, che elettroni e ioni positivi attraversino separatamente il diaframma e poi ricostituiscano le coppie giranti. Siccome poi non si può facilmente ammettere il libero passaggio dei ioni attraverso una foglia metallica, si può pensare, che i ioni necessari alla formazione delle dette coppie provengano, o dalla ionizzazione dell'aria, od ancora, quantunque indirettamente, dal fatto, che la foglia metallica, se è permeabile agli elettroni e non ai ioni, deve caricarsi positivamente (§ 39).

Può accadere la ricostituzione dei raggi magnetici, anche quando rimasero prima distrutti, non già in seguito ad un urto contro un ostacolo, ma in causa dell'essere arrivati fuori dal campo magnetico, od almeno in una regione ove questo ha una intensità insufficiente. Questo caso si realizza facil-

Digitized by Google

mente collocando presso l'estremità del tubo la più lontana dal catodo un secondo rocchetto *R'* (*fig. 52*) avente esso pure l'asse in coincidenza con quello del tubo. Se i poli di *R* ed *R'* prossimi al tubo sono dello stesso nome, il tubo stesso si troverà esposto

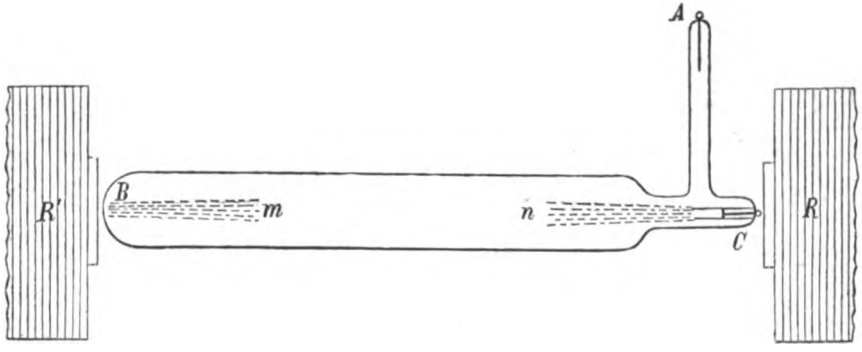

Figura 52.

all'azione d'un campo magnetico, la cui intensità decresce andando dal catodo *C* verso sinistra sino ad annullarsi, dopo di che esso s'inverte, e presenta una intensità crescente sino a *B*. Anzi, se i due poli hanno eguale intensità, il campo sarà nullo esattamente a metà della loro distanza.

Quando entrambi i rocchetti sono eccitati veggonsi due fasci di raggi magnetici *Cn* e *Bm*. Un polo

Digitized by Google

di nome contrario a quello dei due poli vicini al tubo, attira il fascio *Cn* e respinge invece il fascio *Bm*, e ciò si può verificare avvicinando al tubo, o presso *C* o presso *B*, un blocco di ferro. Ciò prova, che il fascio *Bm* si comporta, come se presso ad *m* esistesse un catodo ed un polo magnetico di nome contrario a quello dei poli dei rocchetti. Il fascio *mB* è dunque costituito da coppie ione-elettrone, con senso di girazione inverso a quello delle coppie formanti il fascio *Cn*, e muoventisi da *m* verso *B*. Quelle coppie sono evidentemente formate coi ioni e cogli elettroni rimasti liberi, là dove le coppie formanti i raggi magnetici *Cn* si sono sciolte.

Lo stesso effetto si può osservare mediante un tubo d'altra forma, il quale, come quello della fig. 52, servì anche ad altri scopi. Tale tubo era lungo circa un metro e 30 centimetri, ed aveva un diametro tale da poter liberamente entrare nel foro dei rocchetti, come vedesi nella fig. 53. Quando siano eccitati i due rocchetti con polarità di opposte direzioni, appaiono i due fasci magnetici *n* ed *m* analoghi a quelli della fig. 52.

Se invece di ricorrere ad un tubo sottile si pone in esperienza un tubo assai ampio, per esempio l'appa-

Digitized by Google

recchio di forma sferica rappresentato a circa due quinti del vero nella fig. 54, il fenomeno luminoso dovuto ai due fasci di raggi magnetici diviene molto appariscente. Supponendo che anche questo apparecchio sia collocato fra i due rocchetti, e che questi volgano ad esso poli omonimi, il fascio di raggi

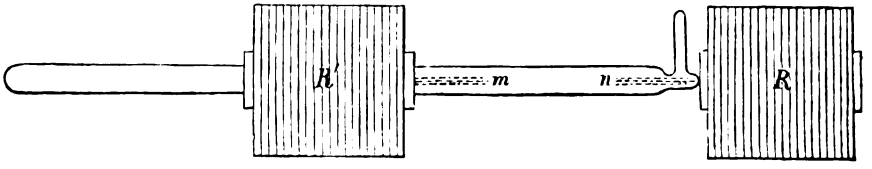

Figura 53.

magnetici partente dal catodo assume una forma divergente, trasformandosi, mentre si allarga, in una luce rosea, insieme alla quale riempie tutto lo spazio *abc*, se il campo è abbastanza intenso, e la rarefazione dell'aria (0,16 millimetri) conveniente. Quella luce rosea rappresenta in questo apparecchio la colonna *EF* della fig. 24. Il secondo fascio di raggi magnetici converge verso *d*, preceduto da un prolungamento della luce rosea, ragione per cui l'intero fenomeno luminoso è sensibilmente simmetrico

Digitized by Google

rispetto al piano passante pel centro del pallone e perpendicolare al campo, se, come nella figura si è supposto, questo è nullo al centro della sfera.

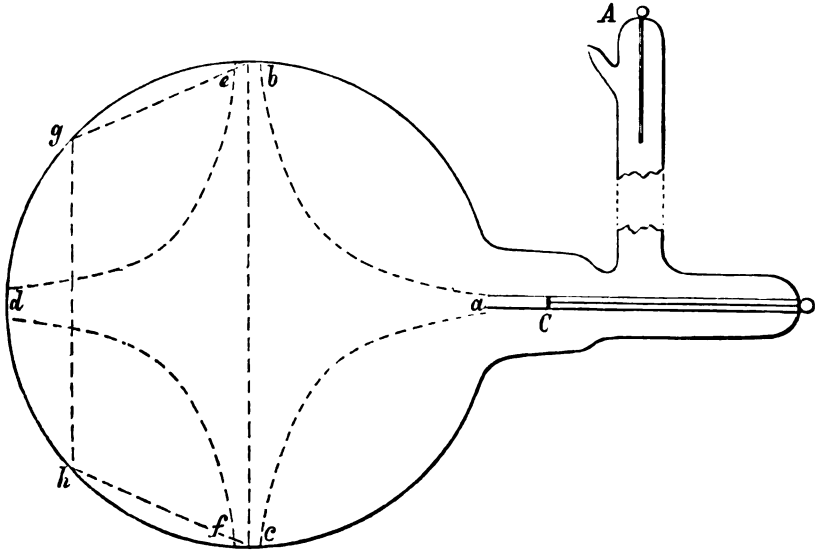

Figura 54.

In complesso si ha dunque una specie di lente di luce rosea prolungantesi in coni di luce azzurro-violetta.

Ma il fenomeno luminoso diviene anche più rimarchevole, se il rocchetto di sinistra è abbastanza vicino all' apparecchio, in grazia del formarsi di

Digitized by Google

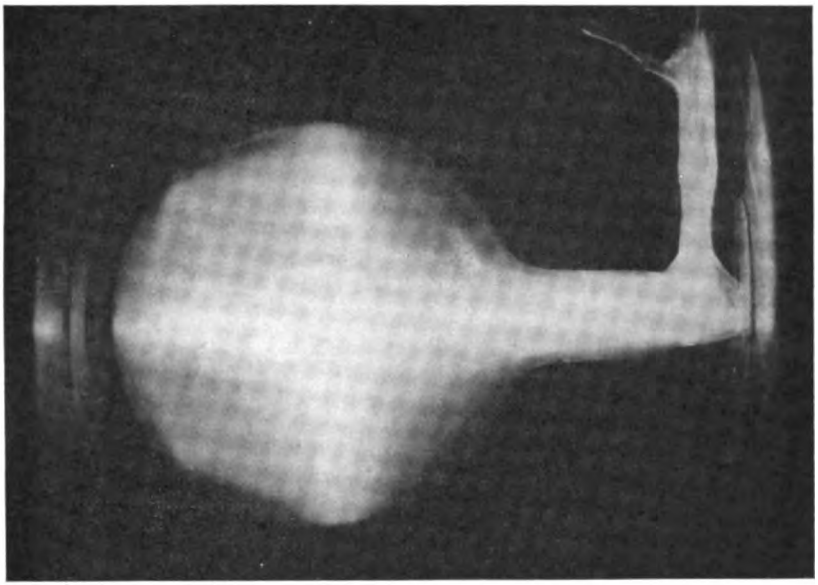

Figura 55 — Scala 1 : 3.

UNIV. OF CALIFORNIA

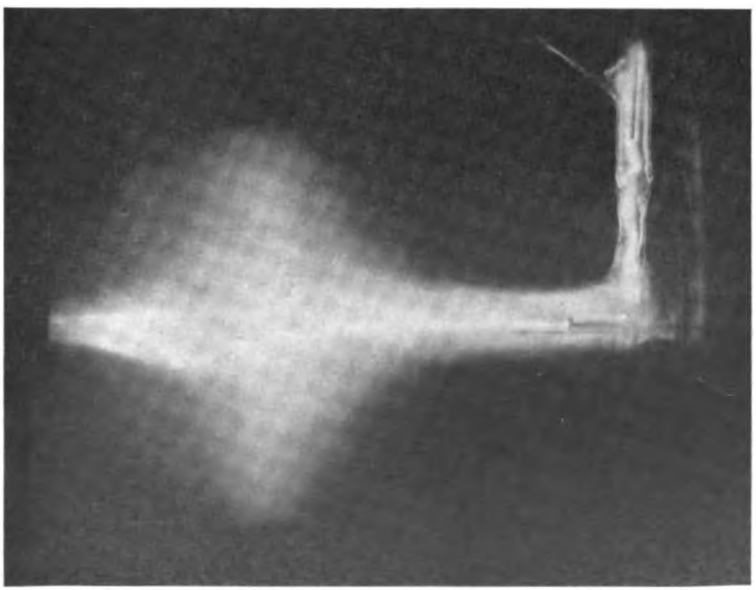

Figura 56.

Digitized by Google

UNIV. OF CALIFORNIA

Digitized by Google

nuovi raggi magnetici partenti dalla parete (§ 38). Si vede cioè un anello luminoso azzurro violaceo in *gh* da cui parte una luce *gehf* in forma di tronco di cono, sfumata dall' azzurro al roseo.

Le fotografie riprodotte nelle figure 55 e 56 danno qualche idea del brillante fenomeno mostrato dall' apparecchio della fig. 54. Nel caso della fig. 56 la pressione dell' aria era un poco minore di quella indicata, e così si potevano scorgere, il filetto di raggi catodici partente dal catodo, ed un altro analogo, probabilmente continuazione del primo, diretto verso il polo di sinistra.

Se coi reostati si fa variare l' intensità della corrente che percorre uno dei due rocchetti, in modo che il luogo ove è nullo il campo magnetico non coincida più col piano passante pel centro del globo di vetro e perpendicolare all' asse, vedesi uno spostamento dell' intero fenomeno luminoso verso quello dei due rocchetti di cui si è diminuita l' intensità polare, o verso quello di cui questa è stata aumentata.

Digitized by Google

37. - Raggi magnetici nei tubi a strozzatura.

Era interessante esaminare, se il campo magnetico trasformasse in raggi magnetici i raggi catodici aventi origine nella parte ristretta o strozzata d'un tubo di scarica. Fra le molte esperienze istituite in proposito si descriveranno dapprima alcune di quelle realizzate con un tubo munito di tre elettrodi, e rappresentato dalla fig. 57, alla scala di circa 1 : 4.

Esso è appoggiato ad un sostegno d'ebanite *L*, *M*, e consta di due parti congiunte con chiusura smerigliata. Una di esse *ABCDE* porta in *A* un elettrodo in forma di disco, come pure un secondo elettrodo *B* all' estremità di un ramo laterale; l'altra parte *FGHI* porta un terzo elettrodo *G* in un ramo laterale. I due recipienti comunicano fra loro soltanto per mezzo d'un foro *D*, di circa due millimetri di diametro, praticato all' estremità di *ACDE*. L' apparecchio è posto col suo asse in coincidenza di quello dei due grandi rocchetti *R* ed *R'* destinati a produrre il campo magnetico.

Digitized by Google

Siccome si può far anodo o catodo qualunque dei tre elettrodi, ed è possibile far agire o uno solo dei rocchetti o entrambi, e in questo caso in maniera che i poli affacciati siano eteronomi od omonimi, così sono assai numerose le esperienze,

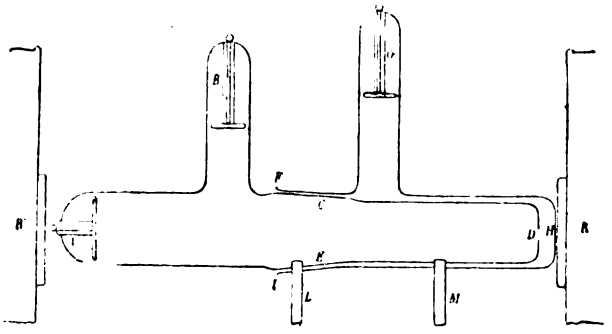

Figura 57.

che si possono effettuare coll'apparecchio descritto; però converrà limitarsi alla descrizione delle principali, che tutte si accordano nel dimostrare, che dal foro *D* partono raggi magnetici, quando il campo magnetico agisce. La pressione dell'aria nell'apparecchio era generalmente di 0,12 millimetri.

a) Si prenda *G* come catodo e *B* come anodo. In assenza del campo magnetico il tubo presenta

Digitized by Google

l' aspetto seguente. Di fronte al catodo *G* si formano i due strati di luce negativa separati dallo spazio oscuro di Crookes, poi una colonna stratificata di luce positiva nell'intervallo fra i tubi sino verso *H*. Un' altra colonna stratificata parte da *B* e si avanza sino verso *D*; ed infine dal foro *D* partono due fiocchetti divergenti di luce, l' uno verso *H*, l' altro in senso contrario, quest' ultimo avente i caratteri di fascio catodico. Eccitando i rocchetti in modo che i poli affacciati siano di nome opposto, e quindi in guisa che il campo magnetico abbia lo stesso senso lungo tutto il tubo, essendo soltanto un poco meno intenso nel mezzo che alle estremità, il fiocchetto catodico diviene assai meno divergente e assai lungo, e inoltre presenta i caratteri d'un fascio di raggi magnetici. Per esempio esso è attratto da un polo magnetico di nome contrario a quello del polo vicino ad *H*.

b) Ridotta la pressione dell' aria nell' apparecchio a 0,06 mm. si notarono le seguenti modificazioni. Prima dell'azione del campo il fiocchetto catodico partente da *D* e diretto verso sinistra ha l' aspetto d' un lungo filetto luminoso a contorni netti, che bene si presta a dimostrare la deviabilità

Digitized by Google

dei raggi catodici per opera di un campo magnetico o d' un campo elettrico, non meno del simile filetto luminoso, che si ottiene nei noti tubi di Wehnelt (§ 7). Eccitando come precedentemente il campo magnetico, il detto filetto luminoso si allunga sino al disco *A*, e presenta il comportamento di fascio di raggi magnetici. Esso è più luminoso e sottile agli estremi che nel mezzo, ove il campo magnetico ha una intensità un po' minore.

Colla pressione così ridotta si osserva un nuovo e largo fascio di raggi magnetici, che parte dal disco isolato *A* divergendo leggermente come le linee di forza magnetica, ed assai meno luminoso del fascio principale. La fotografia riprodotta nella fig. 58 lascia distinguere i due fasci magnetici in mezzo alla luminosità positiva esistente nell'apparecchio. Poichè in questa fotografia non appaiono abbastanza distinti i contorni del tubo di scarica, il lettore farà bene a confrontarla colla fig. 57, disegnata press' a poco alla stessa scala; e così potrà in particolare verificare, che le due striscie luminose verticali, con cui termina a destra la fig. 58, altro non sono che riflessi luminosi prodotti dalla faccia polare del rocchetto *R* (*fig. 57*).

Digitized by Google

Accostando una sbarra di ferro al tubo in prossimità di *R'*, tanto il fascio partente da *D* quanto l'altro più diffuso, che sembra divergere dal disco *A*, sono respinti, od almeno quest'ultimo si restringe, e sembra partire solo dalla porzione del disco più lontana dalla sbarra di ferro. Se questa è avvicinata al tubo in prossimità di *R*, il fascio magnetico partente da *D* s' incurva sino alla parete laterale, mentre il fascio, che ha per base il disco *A*, permane invariato.

c) Se il disco *A* è messo in comunicazione col suolo, esso si comporta come catodo secondario, e, se non esiste il campo, veggonsi di fronte ad esso i due strati negativi. Ma quando il campo è eccitato compare ancora il fascio magnetico avente origine nel foro *D* ed estendentesi sino ad una certa distanza dal disco *A*. Un polo magnetico laterale lo sposta in senso tale da far vedere, che si tratta di un fascio di raggi magnetici il quale cammina da sinistra verso destra.

d) Se nel caso della esperienza *a*) s' inverte la corrente in uno dei rocchetti, di modo che si abbia campo nullo a metà del tubo e campi inversi dalle due parti, veggonsi ancora due fasci magnetici,

Digitized by Google

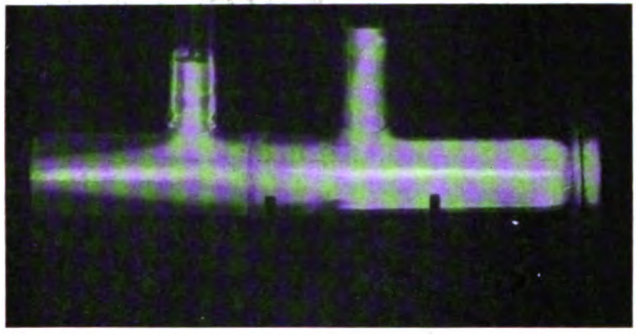

Figura 58 — Scala 1 : 4.

UNIV. OF CALIFORNIA

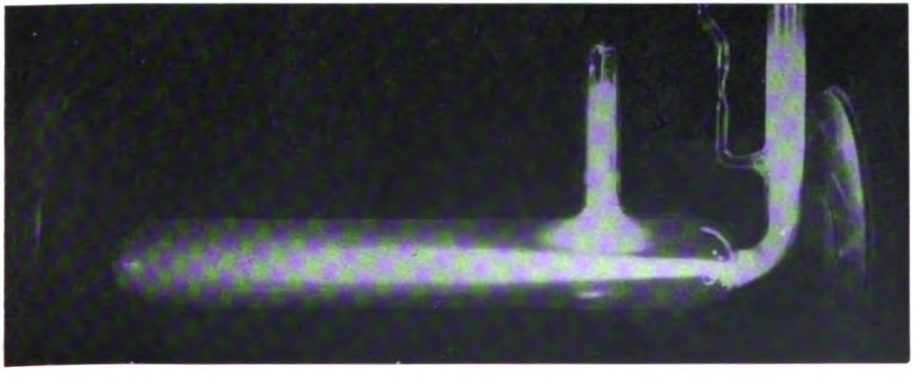

Figura 61.

Digitized by Google

Digitized by Google

che non arrivano sino alla metà del tubo, uno partente da *D* e l' altro dal centro del disco *A*. Il loro comportamento è simile a quello degli analoghi fasci descritti nell' esperienza a cui si riferisce la fig. 52.

e) Merita di essere citata ancora quest' ultima esperienza, rinunciando ad altre di interesse apparentemente minore. Si prenda come catodo il disco *A* e come anodo il disco *G*, e, come nella esperienza precedente, abbiamo i poli affacciati dei rocchetti *R* ed *R'* lo stesso nome. Prima che la corrente passi nei rocchetti veggonsi dalle due parti del foro *D* i fiocchetti luminosi già descritti, ma quello che rappresenta il fenomeno catodico è ora diretto da *D* verso *R*. Quando esiste il campo magnetico, il fascio di raggi magnetici ordinario appare naturalmente fra *D* ed *R*. Ma in pari tempo si vede un altro fascio di raggi magnetici che parte da *D* e si dirige verso sinistra. Esso è attratto da un polo di nome contrario a quello di *R*, per esempio dal polo che si forma in una sbarra di ferro avvicinata lateralmente al tubo. Questo nuovo fascio, che è evidentemente costituito a spese di quello che parte da *D* e si rompe in *H*, sembra

Digitized by Google

cedere meno del consueto all'azione del polo che gli si avvicina.

Un terzo fascio di raggi magnetici pallido e diffuso parte poi dal catodo *A*, e la sbarra di ferro (magnetizzata per influenza di *R'*) lo attira. Esso evidentemente è il fascio di raggi magnetici, che si forma come d'ordinario a partire dal catodo.

L'apparecchio descritto or ora presenta un inconveniente, quello cioè della luce, che si diffonde nell'intervallo fra i due tubi, rendendo meno chiaramente visibili, specialmente nelle fotografie, i raggi che partono dal piccolo foro. Perciò vennero più tardi costruiti tubi d'altre forme, e particolarmente quelli rappresentanti nelle figure 59 e 60.

Il tubo fig. 59 (scala 1 : 4) messo fra i due grandi rocchetti mostrò molto chiaramente la formazione dei raggi magnetici partenti dal foro, di circa due millimetri di diametro, praticato nella parete *mn* che separa il tubo *nF* dal grande tubo *Bm*. La fotografia riprodotta nella fig. 61 fu ottenuta quando l'elettrodo *E* della fig. 59 era adoperato come anodo e l'elettrodo *F* come catodo, mentre soltanto il rocchetto di destra era eccitato.

Quando si aggiunse un rocchetto presentante

Digitized by Google

al tubo un polo di nome contrario a quello del rocchetto grande, e posto verticalmente al disotto del tubo medesimo, si ottenne la consueta deformazione del fascio di raggi magnetici, quale venne riprodotta nella fotografia fig. 62.

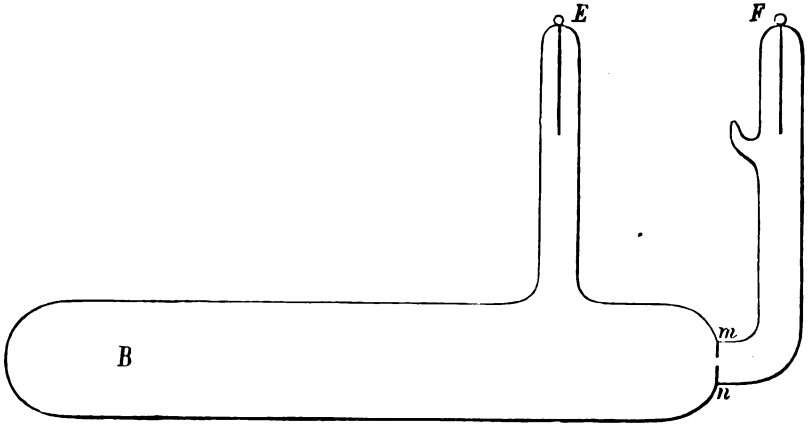

Figura 59.

Eccitando invece in senso concorde i due rocchetti fra i quali è collocato il tubo, il fascio di raggi magnetici divenne fusiforme prolungandosi sino al fondo del tubo di scarica, come appare dalla fotografia, della quale la fig. 63 è la riproduzione.

Invertendo la polarità degli elettrodi, cioè facendo *E* catodo ed *F* anodo, apparve, allorchè venne eccitata l'elettrocalamita di destra, un fascio

Digitized by Google

di raggi magnetici partente dal foro e diretto verso sinistra, insieme ad uno brevissimo e più intenso partente dal foro e diretto verso destra. Il primo di questi due fasci si sarebbe forse potuto attribuire alla trasformazione in raggi magnetici, di raggi positivi emananti dal foro medesimo; ma un attento esame del fenomeno valse a far comprendere, che quel fascio era dovuto al ricongiungersi dei ioni ed elettroni provenienti dal rompersi contro la parete del tubo, delle coppie, che costituiscono il breve e brillante fascio di raggi diretti verso destra.

Fu anzi per controllare quest' opinione che venne costruito il tubo, che la fig. 60 rappresenta alla scala di 1 : 5. Delle due parti di cui consta, una *B* è quella entro la quale si osservano i raggi, ed è munita d' un elettrodo *E*; l' altra *A*, di diametro tale da poter entrare nel foro assiale del rocchetto, porta l' altro elettrodo *F*, e comunica colla prima soltanto per mezzo del foro *m* di circa 2 millimetri di diametro. Quando è catodo l' elettrodo *F* si osservano gli stessi fenomeni come col tubo della fig. 59. Quando invece fa da catodo l' elettrodo *E*, vedonsi bensì i raggi magnetici

Digitized by Google

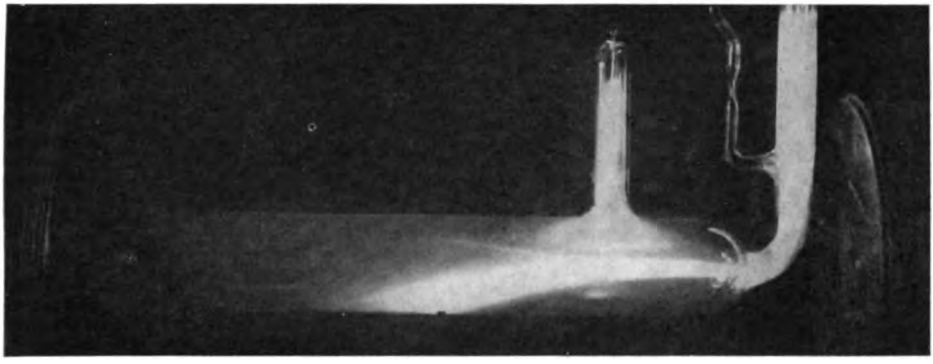

Figura 62.

UNIV. OF CALIFORNIA

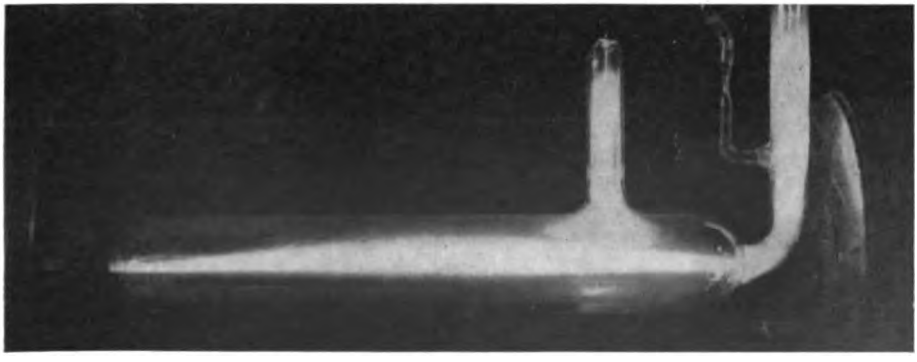

Figura 63.

Digitized by Google

Digitized by Google

partenti da *m* e dirigentisi verso il rocchetto, ma non più quelli diretti verso sinistra; ciò che agevolmente si spiega considerando, che i raggi magnetici diretti verso destra non trovano una parete su cui rimanere distrutti, ma semplicemente cessano di esistere entro il rocchetto, ove il campo magnetico manca, od almeno ha debole intensità, dopo di che gli elettroni, che in tal modo rimangono liberi, vanno a neutralizzarsi verso l'anodo *F*.

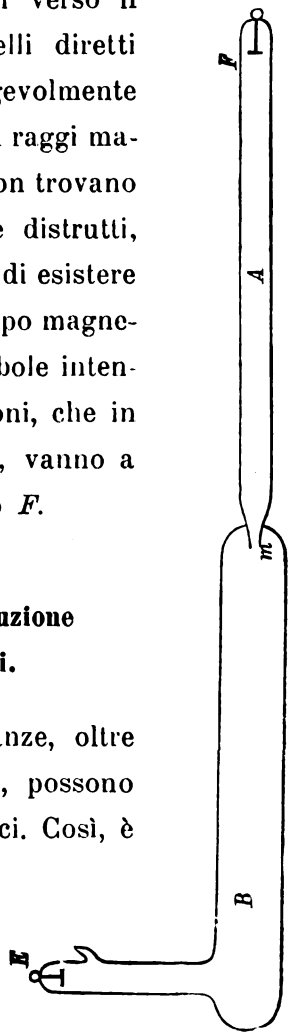

Figura 60.

38. - **Altri casi di produzione dei raggi magnetici.**

In diverse altre circostanze, oltre a quelle considerate fin qui, possono originarsi dei raggi magnetici. Così, è facilissimo osservarne, allorchè si tocca col dito un tubo di scarica posto in prossimità d'una elettrocalamita.

Digitized by Google

È noto da tempo [1] che, toccando col dito la parete di un tubo di scarica, la faccia interna della medesima nel luogo toccato funziona come catodo, in quanto che partono da essa dei raggi catodici *secondari*. A seconda della pressione del gas i raggi catodici così generati, o sono visibili come un fascio di luce azzurro-violetta, che parte dalla parete e si estende sino ad una certa distanza, oppure non sono visibili, e soltanto fanno sorgere sulla parete di fronte una macchia di luce di fluorescenza. È il primo di questi due casi che si verifica generalmente nella maggior parte dei tubi adoperati nelle esperienze sin qui descritte, stante la moderata rarefazione dell'aria in essi contenuta. Se durante l'esperimento il tubo è esposto alla azione d'un campo magnetico di sufficiente intensità, quel fascio di raggi catodici si trasforma in un fascio di raggi magnetici assumendo una forma simile a quella di un tubo di forza magnetica.

Non è poi sempre indispensabile toccare il vetro. Può bastare la vicinanza di un conduttore non isolato, perchè dai punti della parete più vicini

(1) Goldstein, *Wied Ann.* t. 73, p. 468 (1876).

Digitized by Google

al detto conduttore sorgano raggi catodici, che poi il campo trasforma in raggi magnetici.

Fu osservato questo fenomeno in occasione delle esperienze cui si riferisce la fig. 24. Bastava infatti, per ottenerlo, toccare il tubo a poca distanza dal polo *S* destinato ad inflettere la colonna di luce *EF*. In questa esperienza oltre al campo magnetico prodotto dal rocchetto *S* esiste necessariamente anche quello prodotto dal rocchetto *R*, giacchè, come sappiamo, senza di questo il tubo *BD* resterebbe oscuro. Ma si ottengono i raggi magnetici toccando il vetro di fronte al polo *S*, anche senza che agisca il polo *R*, qualora si forniscano i necessari ioni positivi in altra maniera, per esempio inserendo un piccolo intervallo a scintilla fra la macchina elettrica ed uno degli elettrodi del tubo. Come fu detto, il tubo *BD* si illumina anche in questo caso. In mezzo alla luminosità generale spiccano i raggi catodici secondari partenti dalla parete toccata, e questi si trasformano in raggi magnetici disposti lungo le linee di forza, allorchè si eccita il polo *S*.

Del resto, simili raggi magnetici possono ottenersi da qualsiasi tubo di scarica, per esempio con

Digitized by Google

uno degli usuali tubi di Geissler *AC* (*fig. 64*) aventi gli elettrodi alle due estremità. Basta perciò adagiarlo sul polo di una elettrocalamita *R*.

Se questo polo si trova di fronte alla colonna positiva *AB*, i raggi che si producono toccando il tubo per esempio in *D*, o avvicinando semplice-

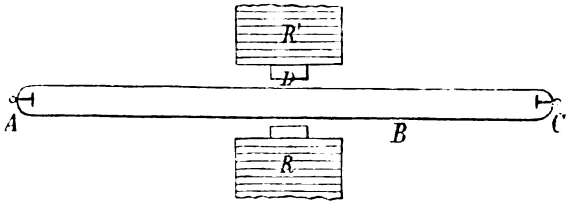

Figura 64.

mente sino a piccolissima distanza un conduttore non isolato, si distinguono nettamente pel loro colore dalla colonna stessa, la quale naturalmente è ridotta, ove il campo è più intenso, ad una sottile striscia aderente al vetro. Ciò vale per un tubo contenente aria a moderata rarefazione, mentre che per un tubo contenente per esempio idrogeno, o nel quale la rarefazione sia assai spinta, quella differenza di colore si attenua fortemente, od anche più non esiste.

Digitized by Google

Se si aggiunge un secondo rocchetto R' di fronte al primo, percorso dalla corrente magnetizzante in tal senso da rinforzarne il campo magnetico, l'effetto naturalmente è più cospicuo.

La luce, che viene a riempire il tubo nella parte di esso che è attigua ai poli dei due rocchetti, richiama alla mente una interessante esperienza del Pellat [1]. Per tale esperienza la disposizione adottata è sostanzialmente quella della fig. 64, salvo che il tubo AC, assai lungo, contiene preferibilmente idrogeno. Se si fa crescere il campo magnetico a partire da zero, la colonna positiva fra i poli dapprima si restringe di più in più, poi si allarga di nuovo sino a riempire la sezione tutta del tubo, quando il campo ha una forte intensità.

Possono considerarsi come trasformazione di raggi catodici secondari i raggi magnetici che si formano in m fig. 53, quando soltanto il rocchetto R' è eccitato, o quando il rocchetto R è alquanto lontano dall'altro. Tali raggi magnetici sono attratti da una sbarra di ferro avvicinata al rocchetto R' e cioè si comportano come se presso il polo del

(1) *Comp. Rend.*, 5 mai 1902, p. 1046.

Digitized by Google

rocchetto *R'* esistesse un catodo. Essi si distinguono così dal fascio di raggi magnetici *m* che gli si sovrappone, quando anche *R* è eccitato, e di cui l'origine fu spiegata più sopra. La disposizione della fig. 65, realizzata col medesimo tubo della fig. 53, serve bene per mostrare l'esistenza dei due fasci *m* sovrapposti. Accostando ad essi

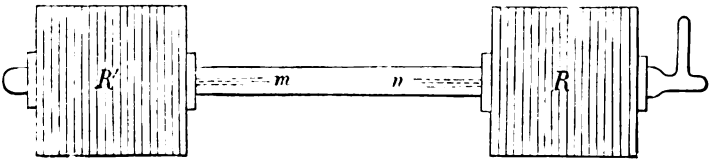

Figura 65.

un polo magnetico, uno dei fasci viene attratto e l'altro respinto, e per tal modo rimangono separatamente visibili. Anche col tubo della fig. 52 si può osservare un fascio *Bm* di raggi magnetici, trasformazione di raggi catodici secondari, purchè si ponga il rocchetto *R'* vicinissimo al fondo *B* del tubo, o meglio ancora toccando quest'ultimo con un conduttore comunicante col suolo.

La parete del tubo di scarica funziona come catodo secondario anche quando è colpita dai

Digitized by Google

raggi catodici provenienti dal vero catodo. E se tale parete è esposta all'azione del campo magnetico, i raggi catodici secondari, che partono da essa, possono trasformarsi in raggi magnetici. Questo caso è analogo a quello dell'esperienza di Hittorf, e ne differisce solo in ciò, che è da un solido colpito dai raggi catodici che partono i nuovi raggi, anzichè dalle molecole del gas.

Un'esperienza, che illustra questa maniera di produzione dei raggi magnetici, è la seguente, che può eseguirsi col tubo della fig. 51. La fig. 66 ne rappresenta la parte, che per questa esperienza più interessa d'osservare, vista nella direzione dell'asse del rocchetto. Il cerchio *RR* è il contorno del nucleo del rocchetto; *AB* la sezione di quel ramo del tubo che è coassiale coll'elettrocalamita; *C* il catodo disposto in modo, che il sottile fascio catodico *ca* sia verticale, quando non esiste il campo magnetico; *DE* un tratto del ramo laterale del tubo, alla cui estremità è sostenuto il catodo girevole. Eccitando il rocchetto, il fascio catodico assume la forma semicircolare *cb* e va a colpire in *b* il cannello di vetro che avvolge il catodo. In pari tempo appare un fascio debolmente lumi-

Digitized by Google

noso diretto secondo le linee di forza magnetica, ed avente la forma di una specie di doccia cilindrica, la cui sezione trasversale coincide con *cb*, e le cui generatrici sono perpendicolari al piano della figura. Questo fascio non è altro che quello formato dai raggi magnetici partenti, come nella

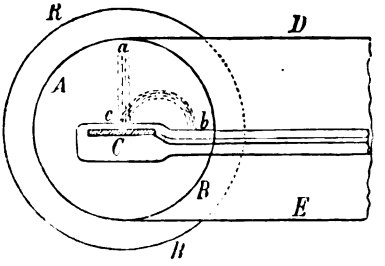

Figura 66.

analoga esperienza di Hittorf, da ogni punto del fascio catodico *cb*. Ma in corrispondenza della porzione di vetro *b* la luminosità del fascio è assai maggiore che nel resto. Quivi si ha appunto il fascio di raggi magnetici, che partono dal vetro, ove è colpito dai raggi catodici. Quest'ultimo fascio, che come quello partente da ogni punto di *cb* si propaga tanto verso l'osservatore che guarda la figura 66, quanto verso il rocchetto, eccita la fluo-

Digitized by Google

rescenza verde del vetro, ove lo colpisce dirigendosi verso il polo.

Per ultimo giova osservare, che i raggi magnetici possono aver origine, ove esistono in un campo magnetico elettroni in movimento, dotati di velocità sufficienti per ionizzare il gas, quand'anche essi non costituiscano veri raggi catodici, od almeno raggi di cui si manifesti l'esistenza.

Per esempio, quando nelle esperienze relative alle fig. 52, 53 e 65 si sopprime il rocchetto *R*, e il catodo è abbastanza lontano dal rocchetto *R'* perchè i raggi catodici restino inalterati, si forma tuttavia un fascio magnetico *m*, il cui modo di comportarsi, quando gli si avvicina un polo magnetico, è tale, da doverlo considerare come partente da *m* e diretto verso il rocchetto *R'*.

39. - Effetti prodotti quando i raggi magnetici incontrano un corpo.

Si è visto nel § 36 che, quando i raggi magnetici incontrano una parete o una lamina solida qualunque, avviene la loro distruzione, seguìta

Digitized by Google

dalla ricostituzione loro, se agisce un campo magnetico abbastanza intenso. Ma in pari tempo si manifestano alcuni speciali fenomeni, dei quali si tratterà nel presente paragrafo.

Uno di questi fenomeni è quello della luminosità del corpo urtato dai raggi magnetici. Per molti corpi questa fluorescenza non si distingue da quella provocata dai raggi catodici, che per la maggiore intensità. Così una lastra di vetro comune messa di fronte al catodo ad una distanza tale, che i raggi catodici la lascino oscura o la rendano fluorescente in modo assai debole, diviene vivamente luminosa emettendo la ben nota luce verde, quando per mezzo d'un campo magnetico di direzione coincidente con quella dei raggi, si trasforma in raggi magnetici buona parte dei raggi catodici. Altrettanto accade se al posto del vetro si pongono varie altre sostanze, per esempio: il ioduro di litio, che emette una viva luce azzurra, il ioduro di sodio che la dà gialla, i sali d'uranio e in particolare il nitrato, che danno la ben nota fluorescenza verde, il cloruro di cesio (luce azzurra vivace), il ioduro di potassio (bianca verdastra), il bromuro di sodio (bianca azzurrognola) ecc.

Digitized by Google

Il tubo della fig. 18, opportunamente modificato coll'aggiunta d'una chiusura a smeriglio alla sua estremità di sinistra, può essere adoperato per uno studio comparativo della fluorescenza prodotta nelle varie sostanze. La sostanza da studiare si colloca in *D*, in luogo del disco isolato, o facendola portare dal disco medesimo; e secondo che *CC* è catodo ed *A* anodo, oppure viceversa, si potrà osservare la luminosità prodotta dai raggi-canali o dai raggi catodici. Se poi si eccita il campo magnetico generato dall'elettrocalamita collocata presso l'estremità di destra del tubo, si sarà in grado d'osservare gli effetti dovuti ai raggi magnetici. Naturalmente si collocherà verticalmente l'intero apparecchio in modo che *A* sia al disopra di *D*, se si vuol studiare una sostanza che non si può fissare in *D*, per esempio un corpo in polvere o eventualmente un liquido.

Verosimilmente il fenomeno dell'aumentato splendore del corpo colpito dai raggi, quando esiste il campo magnetico, è collegato all'altro, già dimostrato, dell'aumento del potenziale di scarica prodotto dal campo magnetico, che ha per conseguenza immediata un aumento della velocità traslatoria

Digitized by Google

degli elettroni respinti dal catodo; ma in ogni caso questa non ne è l'unica causa. Infatti si osserva un notevole aumento di splendore del corpo colpito dai raggi partenti dal catodo al momento in cui si eccita il campo magnetico, se si adopera un tubo del tipo di quello della fig. 19, cioè coll'anodo collocato all'estremità lontana dal catodo, quantunque coi tubi di questo genere il campo magnetico faccia diminuire la differenza di potenziale agli elettrodi. Neppure la diminuzione di divergenza dei raggi dovuta all'azione del campo sembra sufficiente a spiegare la maggior luminosità della fosforescenza prodotta dai raggi magnetici, in confronto di quella generata dai raggi catodici.

Ma studiando attentamente ciò che accade sulla parete del tubo di vetro di fronte al catodo, allorchè si fa lentamente variare la pressione dell'aria entro l'apparecchio, si giunge a scoprire un carattere differenziale fra la fluorescenza destata dai raggi catodici e quella generata dai raggi magnetici, e precisamente un carattere tale da avvicinare questi ultimi ai raggi positivi.

Se infatti la pressione dell'aria è di qualche decimo di millimetro, non si osserva nessuna lumi-

Digitized by Google

nosità sulla parete che fronteggia il catodo, nel caso d'un tubo della solita forma (*fig. 24*) lungo da uno a due decimetri, sia che agisca o no il campo magnetico. Diminuendo poco a poco la pressione finisce coll'apparire l'usuale fluorescenza verde, ove i raggi magnetici incontrano il vetro; ma prima che tale luce verde acquisti una notevole intensità si osserva un altro fenomeno, e cioè una luminosità di colore giallo-arancio della parete stessa, perfettamente simile a quella che producono col loro urto sul vetro i raggi-canali. Lo spettro di questa luce mostra le righe del sodio, e diviene più intensa, se si tocca col dito la faccia esterna del vetro. Come quando si tratta dei raggi positivi, anche nel caso dei raggi magnetici quella luce gialla diviene pure più intensa, se all'aria del tubo si sostituisce l'ossigeno puro.

Quando poi con ulteriore piccola diminuzione della pressione del gas aumenta l'intensità dell'usuale fluorescenza verde, la luce gialla più non può essere distinta. Siccome però la fluorescenza gialla in corrispondenza del conduttore che tocca la parete del tubo si forma, non solo ove i raggi magnetici incontrano il vetro, ma anche nelle regioni

Digitized by Google

circostanti, così basta deviare i detti raggi, come nelle fig. 13, 44 e 45, per esempio accostando al tubo una sbarra di ferro, perchè la luce gialla seguiti a vedersi sotto il dito che tocca il vetro. Anzi, continuando a rarefare il gas, la detta luce diviene più intensa sino ad un massimo, dopo di che s'indebolisce e scompare.

Questo fenomeno, come vari altri precedentemente descritti, non si saprebbe facilmente spiegare, se i raggi magnetici non trasportassero ioni positivi, e fossero non altro che raggi catodici non più rettilinei.

Infatti, non si può concepire come e perchè i raggi catodici, quando il campo ha loro conferito una forma elicoidale, dovessero comportarsi come i raggi positivi, e come questi generare la fluorescenza gialla nel vetro contenente sodio, mentre, quando il campo non esiste ed hanno la forma rettilinea, eccitano nel vetro soltanto la ben nota fluorescenza verde. Tutt'al più si potrebbe comprendere un effetto di quel genere qualora i raggi catodici incontrassero il vetro, non già normalmente o quasi, ma sotto un'incidenza molto inclinata e quasi radente, perchè solo in tal caso possono dare carica positiva (§ 9)

Digitized by Google

al corpo da essi colpito. E poichè quella fluorescenza gialla si produce solo quando il vetro riceve cariche positive da raggi-canali o da raggi anodici (§ 13), sembra logico attribuire la luce stessa, anche quando si presenta nel campo magnetico, a ioni positivi, e precisamente a quelli, che fan parte della costituzione dei raggi magnetici, e a quelli scagliati in ogni senso all'istante in cui vengono a sciogliersi le coppie ione-elettrone per urto su una parete o sulle molecole gassose incontrate per via.

L'esperienza descritta riesce nel modo migliore, allorchè la corrente nel tubo è fornita dalla batteria di accumulatori; ma essa può tuttavia eseguirsi colla macchina elettrica, purchè si abbia cura di evitare ogni minimo intervallo a scintilla lungo le comunicazioni fra il tubo e la macchina. Una interruzione introdotta nei conduttori di comunicazione dà luogo alla produzione della luce gialla anche senza l'azione del campo magnetico, nello stesso modo che dà luogo alla formazione della luce rossa entro i grandi tubi adoperati per le esperienze del § 32; ma ciò nell'un caso e nell'altro è dovuto soltanto alla intermittenza della scarica,

Digitized by Google

e alle conseguenti rapide alternative di carica e scarica delle pareti.

Del resto il prodursi della fluorescenza gialla sul vetro, quando agisce il campo magnetico, non può attribuirsi unicamente all'intermittenza della scarica da esso prodotta. Se infatti si aumenta l'intensità del campo sino al punto di rendere molto affievoliti i raggi magnetici, la luce gialla più non si mostra, benchè la scarica rimanga tuttavia intermittente in modo bene accentuato.

Quando nei tubi della forma fig. 24 si produce, per effetto del campo magnetico la colonna di luce rossa *EF*, basta toccare la parete lungo il tratto *EF* e anche un poco al di là delle estremità di questo tratto, perchè si vegga, sulla faccia interna del vetro e in corrispondenza al punto toccato, la luce gialla. Se diminuendo abbastanza l'intensità del campo si fa in modo, che la colonna *EF* non arrivi sino alla regione toccata, quella luce manca. Per osservarla bene è preferibile il rarefare l'aria più del consueto, al punto cioè che la colonna di luce *EF* sia non più rossa, ma rosea o quasi bianca.

Nell'atto in cui si eseguisce l'esperienza si nota un nuovo curioso fenomeno, specialmente con tubi

Digitized by Google

muniti di catodo assai piccolo, e cioè la produzione d'un suono o sibilo acutissimo che parte dal tubo. Il numero di vibrazioni di questo suono verosimilmente coincide con quello delle intermittenze della scarica; esso diviene infatti di più in più grave, quando si aumenta l'intensità del campo magnetico. Cessando di toccare il tubo col dito, il suono diventa molto più acuto, ed anzi, se il campo magnetico è di scarsa intensità, esso sembra uscire dal limite della udibilità. Questo fenomeno sonoro merita d'essere studiato a parte.

Si è già visto (§ 36) che al di là d'una sottile lamina incontrata dai raggi magnetici, questi possono ricostituirsi, e che il caricarsi positivamente della lamina può avere una parte nel fenomeno. Ora, se la lamina chiude interamente il tubo di scarica, e al di là di essa si trova dell'aria rarefatta, non solo quel fenomeno può egualmente prodursi, ma esso può essere accompagnato o sostituito dalla colonna di luce rossa *EF* (*fig. 24*), che si è dettagliatamente studiata nei § 32 e 33.

L'apparecchio adoperato per lo studio di questi fenomeni ebbe, durante il periodo delle esperienze di ricerca, la forma indicata dalla fig. 67, mentre

Digitized by Google

più tardi si costruirono degli apparecchi più semplici destinati a ripetere le esperienze a volontà in determinate condizioni.

Il tubo della fig. 67 è del consueto modello, in quanto alla forma e disposizione degli elettrodi, ma è diviso in due parti. La parte *ABCD*, che è

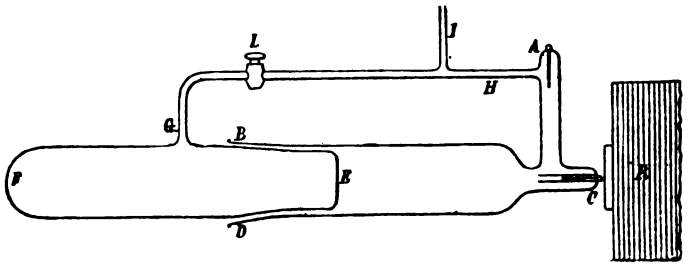

Figura 67.

munita dell'anodo *A* e del catodo *C*, è perfettamente simile alla parte corrispondente del tubo della fig. 24 e degli altri adoperati nella maggior parte delle esperienze descritte nel Cap. VIII, salvo che alla estremità *BD* trovasi un'apertura leggermente conica ed internamente smerigliata. In essa entra a buona tenuta il tubo *EF* chiuso interamente, salvo il sottile cannello di vetro *G*, che, insieme al cannello *H* partente dal tubo *ABCD*, serve a far comu-

Digitized by Google

nicare colla pompa, attraverso il cannello *I*, l'intero apparecchio. Un rubinetto in vetro *L* permette però di chiudere completamente il tubo *EF*, dopo avere ridotta al grado voluto la pressione dell'aria in esso contenuta. Lo stesso rubinetto permette altresì di rarefare ad un diverso grado, se occorre, l'aria nelle due parti dell'apparecchio. Infine, il solito rocchetto *R* serve a generare il campo magnetico d'intensità decrescente da *C* verso *F*.

Una volta riconosciuto quale doveva essere la pressione dell'aria in ciascuna delle due parti dell'apparecchio per avere determinati effetti, si costruirono tubi della forma indicata dalla fig. 68. La porzione *ACnm* è in essi separata dal grande tubo *B* per mezzo della parete divisoria di vetro *mn*, e le due capacità contengono in generale aria a differente grado di rarefazione.

Ecco ora i fenomeni che furono constatati con numerose esperienze eseguite coll'apparecchio della fig. 67.

I raggi magnetici, che partono da *C* e si dirigono verso *E* seguendo sensibilmente le linee di forza magnetica, hanno l'aspetto consueto; essi sono arrestati dal diaframma *E* costituito dal fondo chiuso

Digitized by Google

del tubo *EF*. Ad onta di ciò si riesce ad ottenere entro questo tubo una colonna di luce rossa affatto simile alla colonna *EF* (*fig. 24*), che si forma quando il diaframma non esiste.

La produzione della colonna di luce rossa entro il tubo *EF* ha luogo d'ordinario più facilmente,

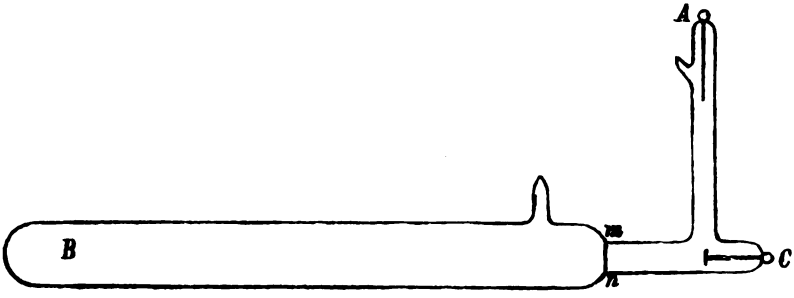

Figura 68.

cioè richiede una minor intensità del campo magnetico, quando la pressione dell'aria nel tubo medesimo è quella, per la quale è minimo il potenziale di scarica. La costituzione di quella colonna luminosa appare identica a quella, che si produce in un tubo non diviso in due parti, giacchè, coll'avvicinare ad essa un polo magnetico, si osservano gli stessi cambiamenti di forma. Ammessa quindi la spiegazione data nel Cap. VIII si può dire, che

Digitized by Google

tutto accade, come se i ioni positivi resi liberi per la distruzione dei raggi magnetici potessero liberamente attraversare il diaframma *E*.

La spiegazione di questo fenomeno offre evidentemente delle difficoltà. Naturalmente sarebbe assurdo supporre un effettivo passaggio dei ioni positivi attraverso la parete di vetro *E*. Si può aggiungere anzi, che il fenomeno non resta sostanzialmente modificato, se nel tubo *ABCD* s' introduce un disco di vetro assai grosso, oppure un disco metallico, di diametro tale da occuparne tutta la sezione, ed appoggiato contro la parete *E*.

Sembra invece accettabile, almeno nelle sue linee generali, la spiegazione seguente, che fa intervenire la carica positiva, riproducentesi periodicamente, della parete urtata dai raggi magnetici.

È verosimile che l'effetto prodotto sulla parete dai raggi magnetici, mentre si rompono su di essa le coppie ione-elettrone di cui sono costituiti, sia quello stesso cui darebbe luogo l'urto simultaneo di raggi catodici e di raggi positivi. Ora è noto, che gli uni e gli altri determinano l'emissione di elettroni negativi da parte dei corpi che vengono colpiti, per cui, ammesso che gli elettroni ed i ioni

Digitized by Google

positivi siano in egual numero trattenuti dal diaframma, questo al momento dell'urto acquisterà improvvisamente una carica positiva. Se poi si ammettesse, che gli elettroni rimbalzino sul diaframma più facilmente dei ioni positivi, si avrebbe un'altra ragione per ammettere la suddetta improvvisa carica positiva del diaframma. La colonna rossa nel tubo *EF* non sarà allora altro che l'effetto del neutralizzarsi di quella carica positiva (o più esattamente del formarsi d'una egual carica negativa sulla faccia della parete *E* rivolta verso *F*), con elettroni provenienti dalle pareti e dal fondo *F* del tubo chiuso. Tali elettroni devono infatti accumularsi come se il diaframma non esistesse, e secondo il processo spiegato nel Cap. VIII.

Quando il campo magnetico sia molto intenso, il brusco caricarsi positivamente del diaframma *E* potrà produrre la ionizzazione dell'aria nel tubo *FE* sino ad una certa distanza da *E*, e far sì che, mentre una carica negativa si accumula alla sinistra del diaframma *E*, un'egual carica positiva si accumuli in una regione intermedia fra *E* ed *F*, precisamente come se in quella regione liberamente giungessero, quasi che il diaframma non esistesse, i ioni

Digitized by Google

positivi; donde le deviazioni nei due sensi della colonna rossa per opera d' un polo magnetico accostato lateralmente, che coll' esperienza furono effettivamente constatate.

L' esperienza seguente corrobora questa spiegazione. Come si disse, alla parete *E* si può aggiungere un disco metallico, senza con ciò impedire la produzione della colonna di luce rossa. Orbene, basta che il disco metallico venga messo in comunicazione col suolo, perchè il tubo *EF* rimanga perfettamente oscuro.

Del resto basta pensare, che sotto l' influenza del campo magnetico la scarica è nettamente intermittente, per comprendere il perchè dell' illuminarsi dell' aria rarefatta nella capacità *EF*. È noto infatti che un tubo privo di elettrodi e contenente un gas rarefatto s' illumina, quando lo si avvicina ad un tubo percorso da scariche, particolarmente poi se queste sono rese intermittenti, ed il tubo *EF* si trova appunto in tal condizione rispetto al tubo *EC*.

Se, soppresso il campo magnetico, s' introduce un intervallo a scintilla fra uno degli elettrodi e la macchina elettrica, il tubo *EF* s' illumina, e un polo magnetico che gli si avvicini separa in due

Digitized by Google

la colonna luminosa, precisamente come accade in un tubo senza parete divisoria. Ma qui, come allora, non si rende manifesta la formazione d'un anodo virtuale, cioè l'accumularsi di ioni positivi in una determinata regione del tubo, come quando la intermittenza è dovuta al campo magnetico.

Digitized by Google

Capitolo X.

RIASSUNTO E CONCLUSIONI

40. - Nel loro complesso le esperienze descritte in questa Seconda Parte appaiono decisamente favorevoli al concetto, che le ha ispirate.

La possibile esistenza in un gas ionizzato di sistemi neutri, costituiti da un elettrone negativo e da un ione positivo mobili l'uno attorno all'altro sotto l'azione della loro reciproca attrazione elettrica, potevasi certamente ammettere a priori; d'altra parte era facile convincersi del fatto che, mentre quei sistemi devono d'ordinario essere estremamente instabili, quando siano esposti alla azione di un campo magnetico alcuni di essi possono acquistare una temporanea resistenza agli urti, che tendono a distruggerli. Le esperienze descritte permettono d'andare più oltre, e cioè di ammettere, che di tutta una classe di interessanti fenomeni,

Digitized by Google

i quali si producono in un gas rarefatto percorso dalle scariche ed esposto all' influenza di potenti calamite, si possa render conto colla supposizione, che i fenomeni stessi si debbano a certi raggi, quelli qui chiamati raggi magnetici, costituiti dai sistemi giranti menzionati più sopra, ciascuno dei quali, durante la sua breve esistenza, ha un moto di traslazione, la cui causa è di per sè evidente, poichè principalmente essa è conseguenza delle velocità, di cui sono animati i due componenti della coppia nel momento in cui si forma.

Ma con tale moto se ne compone un altro, quello dovuto alla forza elettromagnetica che tende a spostare ogni coppia girante, verso i luoghi di minima intensità del campo magnetico.

Si comprende quindi assai facilmente come nel suo assieme il moto traslatorio si compia, solo però in modo approssimativo, lungo le linee di forza. Infine, partendo dalla ipotesi proposta si arriva a dare una spiegazione soddisfacente, non solo dei nuovi fatti qui descritti, alcuni dei quali anzi non sono altro che conferme sperimentali di previsioni basate sulla ipotesi stessa, ma anche dei fatti dello stesso genere anteriormente conosciuti.

Digitized by Google

Se dopo ciò non si può ritenere dimostrato in modo decisivo, che l'ipotesi debba considerarsi come espressione di una realtà, è lecito almeno restare persuasi, che con grandissima probabilità le ricerche future apporteranno nuovi dati di fatto favorevoli all'ipotesi stessa, e che perciò questa acquisterà attendibilità sempre maggiore.

Per le ragioni dette altrove non era lecito sperare d'ottenere una prova diretta, e quindi bisognava contentarsi di conferme indirette e indizi favorevoli. Or bene, si può dire che non sono mancati questi indizi e queste conferme.

Per esserne convinti basta gettare uno sguardo comprensivo sui risultati ottenuti colle ricerche riferite in questo libro, e lasciando anche a parte molte delle esperienze del precedente capitolo, alla spiegazione delle quali potrebbe prestarsi l'usuale teoria, prendere più specialmente in considerazione i risultati seguenti, e cioè:

la diminuzione della carica trasportata dai raggi catodici, quando si propagano in un campo magnetico, resa probabile dalle esperienze riferite in proposito;

l'analogo effetto prodotto dal campo sui raggi

Digitized by Google

positivi, ed il fenomeno concomitante della formazione di raggi magnetici verosimilmente a spese dei ioni positivi e degli elettroni presenti in un fascio di raggi canali, fenomeno questo, che è reso sommamente probabile dalle esperienze del § 28;

il formarsi d'un anodo virtuale, ossia l'accumularsi periodico di ioni positivi in una regione determinata del tubo di scarica ad anodo laterale;

l'essere quella regione tanto più lontana dal catodo quanto più intenso è il campo magnetico, e quanto più rarefatto il gas;

il non più presentarsi dei raggi magnetici, allorchè l'intensità del campo supera un certo valore, fenomeno questo che la teoria aveva fatto prevedere;

il prodursi d'una luminosità di fluorescenza sulle pareti del tubo, in tutto simile a quella che generano i raggi positivi.

Pare a chi scrive che questi fatti, che l'ordinaria teoria (la quale fa consistere i raggi magnetici in raggi catodici a traiettoria non più rettilinea) non può facilmente spiegare, tendano ad eliminare la teoria stessa. E per ciò si può dire almeno, che

Digitized by Google

la teoria nuova, che qui si è proposta e sostenuta, non ha una rivale temibile da combattere.

L'analogia fra la struttura della materia e la costituzione degli astri fu sempre accolta con simpatia e fiducia, ed il concetto moderno, secondo il quale gli atomi non sono più degni del loro nome, ma vengono considerati come sistemi d'elettroni, cerca di valersi dell'analogia stessa e di estenderla. Per esempio si hanno motivi per supporre, che gli elettroni negativi, o almeno alcuni di essi, posseggano nell'atomo di cui fanno parte certi moti orbitali analoghi a quelli dei pianeti. Si tratta di sistemi oltremodo complessi, allo studio dei quali non saranno superflui i sussidi che possono prestare la spettroscopia e la magneto-ottica. La considerazione dei sistemi formati da un ione positivo e da un elettrone negativo, che somigliano ai più semplici dei sistemi di astri, le stelle doppie, costituirebbe un nuovo esempio di quella analogia, basata però in questo caso, non più sopra una semplice intuizione più o meno felice, ma su fatti sperimentalmente accertati.

Digitized by Google

Digitized by Google

APPENDICI

Digitized by Google

Digitized by Google

APPENDICE *A*

Sul moto di un elettrone intorno ad un ione nel campo magnetico [1].

1. L'ipotesi dei raggi magnetici, per essere sviluppata matematicamente, renderebbe necessaria la completa conoscenza del moto assunto nel campo magnetico da un sistema costituito da un ione positivo e da un elettrone negativo, che si muovano l'uno attorno all'altro come i due astri di una stella doppia. Ma tale ricerca, qualora si volesse istituire attenendosi alla massima generalità, presenterebbe difficoltà grandissime, forse anzi praticamente insuperabili. Introducendo però, come si è qui cercato di fare, alcune restrizioni semplificative, la ricerca stessa diviene facile, e tuttavia tale da fornire utili indicazioni per la teoria dei raggi magnetici.

Una prima semplificazione, suggerita dalla circostanza che la massa dell'elettrone è piccolissima di fronte a quella del ione, consiste nel considerare quest'ultimo come immobile. Un'altra consiste nell'ammettere, che il movimento dell'elettrone si compia in un piano perpendicolare al campo magnetico, che si supporrà uni-

[1] Il contenuto di questa Appendice è tratto principalmente da una *Memoria* letta alla R. Accademia delle Scienze di Bologna il 14 novembre 1909.

Digitized by Google

forme e costante. Questa restrizione è giustificata dalla circostanza, che è sopra tutto dal moto traslatorio di sistemi, i quali, se non soddisfano pienamente, almeno sono assai prossimi a soddisfare a tale condizione, che, secondo l'ipotesi proposta, sarebbero costituiti i raggi magnetici. Un moto del sistema ione-elettrone secondo la direzione del campo non modificherà poi evidentemente i risultati.

Siano: $-e$ la carica dell'elettrone, m la sua massa, $+e$ la carica del ione, r la loro distanza all'istante t; x, y, le coordinate dell'elettrone al medesimo istante (per cui si ha $r^2 = x^2 + y^2$) rispetto a due assi ortogonali aventi l'origine nel punto occupato dal ione; v, infine, la velocità dell'elettrone all'istante t.

Sull'elettrone agiscono due forze; la forza elettrica $\frac{e^2}{r^2}$ diretta secondo r, e la forza elettromagnetica Mve, ove M è l'intensità del campo magnetico, diretta perpendicolarmente alla direzione del campo ed alla velocità dell'elettrone. Ponendo per semplicità di scrittura:

$$mh = e^2 \quad , \quad mk = Me,$$

le equazioni del moto dell'elettrone intorno al ione saranno;

$$(1) \qquad \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{hx}{r^3} - k\frac{dy}{dt} \; , \; \frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{hy}{r^3} + k\frac{dx}{dt}.$$

Si compie facilmente una prima integrazione nel modo seguente. Sommando le (1) dopo avere moltiplicato la

Digitized by Google

prima per $-y$ e la seconda per x, come pure dopo avere moltiplicato la prima per $\frac{dx}{dt}$ e la seconda per $\frac{dy}{dt}$ si trova:

$$(2) \qquad x\frac{dy}{dt} - y\frac{dx}{dt} = \frac{k}{2}r^2 + a,$$

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = \frac{2h}{r} - b,$$

essendo a e $-b$ le costanti d'integrazione.

È utile introdurre nelle (2) le coordinate polari definite da $x = r\cos\theta$, $y = r\,\mathrm{sen}\theta$. Esse diventano:

$$(3) \qquad \frac{d\theta}{dt} = \frac{k}{2} + \frac{a}{r^2} \quad , \quad r^2\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 = \frac{2h}{r} - b.$$

Le costanti si determinano coi valori iniziali. Se u_0, v_0, sono le componenti della velocità all'istante $t = o$, prese, la prima secondo il raggio vettore iniziale r_0, e la seconda perpendicolarmente, si trova

$$(4) \qquad a = r_0 v_0 - \frac{k}{2}r_0^2 \quad , \quad b = \frac{2h}{r_0} - u_0^2 - v_0^2.$$

Dalle (3) si desume poi:

$$(5) \quad \begin{cases} \dfrac{dt}{dr} = \pm \dfrac{r}{\sqrt{2hr - br^2 - \left[\frac{k}{2}(r^2 - r_0^2) + r_0 v_0\right]^2}}, \\[2ex] \dfrac{d\theta}{dr} = \pm \dfrac{\frac{k}{2}(r^2 - r_0^2) + r_0 v_0}{r\sqrt{2hr - br^2 - \left[\frac{k}{2}(r^2 - r_0^2) + r_0 v_0\right]^2}}. \end{cases}$$

Digitized by Google

In queste formole, la seconda delle quali è l'equazione della traiettoria dell'elettrone in coordinate polari, si è posto in luogo di a il suo valore; era inutile il far altrettanto con b.

2. Ponendo $\theta = \theta_1 + \frac{k}{2} t$, l'ultima equazione diviene

$$(6) \qquad \frac{d\theta_1}{dr} = \pm \frac{r_0 v_0 - \frac{k}{2} r_0^2}{r \sqrt{2 h r - b r^2 - \left[\frac{k}{2}(r^2 - r_0^2) + r_0 v_0\right]^2}}.$$

Questa equazione insieme alla prima delle (5) definisce un certo movimento dell'elettrone sulla curva la cui equazione è la (6). Componendo tale movimento con una rotazione uniforme della curva stessa intorno alla origine, e di velocità angolare $\frac{1}{2} k$, si ottiene evidentemente come moto risultante il moto effettivo dell'elettrone. Dunque il moto dell'elettrone si può scomporre in due moti componenti: il moto sulla curva (6), e la rotazione uniforme di questa con velocità angolare $\frac{1}{2} k$ intorno all'origine.

È questo un caso particolare di una proprietà che si verifica, qualunque legge segua la forza centrale, che sollecita l'elettrone verso l'origine delle coordinate; per esempio nel caso in cui questa forza è proporzionale direttamente alla distanza (fenomeno di Zeeman).

3. È necessario, prima di proseguire, esaminare il caso particolare di $k = 0$. Se non esiste campo magnetico le (2) e (3) possono ulteriormente integrarsi in una maniera

Digitized by Google

ben nota, perchè il caso stesso non differisce da quello del moto di un pianeta intorno al sole. Anzi per $k = 0$ la (2) esprime il teorema delle aree, e la (3) quello delle forze vive.

Introducendo infatti la nuova variabile φ definita da

$$t = \frac{h}{b^{\frac{3}{2}}} (\varphi - c \operatorname{sen} \varphi),$$

ove si è posto $c^2 h^2 = h^2 - a^2 b$, si riconosce che le due equazioni:

$$r = \frac{h}{b} (1 - c \cos \varphi) \quad , \quad \cos (\theta - \alpha) = \frac{\cos \varphi - c}{1 - c \cos \varphi},$$

dalle quali si ottiene per eliminazione di φ l'equazione della traiettoria:

$$r = \frac{a^2}{h + \sqrt{h^2 - a^2 b} \cos (\theta - \alpha)} \tag{6}$$

soddisfano alle (2) e (3). La costante α si determina coi dati iniziali.

L'equazione (6) rappresenta una curva di secondo grado avente un fuoco nell'origine, e della quale c è l'eccentricità. Essa è ellisse, parabola o iperbole, secondo che b è positivo, nullo o negativo.

In quanto segue si supporrà generalmente che b sia > 0, giacchè altrimenti il sistema ione-elettrone non avrebbe che una effimera esistenza. Infatti, l'elettrone sarebbe ben presto attratto da altri ioni o da atomi, ecc.

È facile poi riconoscere, che il semiasse maggiore

Digitized by Google

dell'ellisse è uguale a $\frac{h}{b}$, il semiasse minore ad $\frac{a}{\sqrt{b}}$, e che il periodo di rivoluzione dell'elettrone è $\frac{2\pi h}{b^{\frac{3}{2}}}$.

4. È utile introdurre nelle equazioni i semiassi A e B della ellisse, che l'elettrone percorre prima dell'istante nel quale si supporrà poi improvvisamente creato il campo magnetico. Resterà allora facilitato il confronto fra la detta ellisse e la traiettoria percorsa quando il campo esiste. Queste due curve si potranno infatti disegnare in una scala arbitraria senza dovere, come si usa in casi analoghi, preoccuparsi dei valori da attribuirsi ad e, m, r ecc. in base ai dati numerici più o meno noti o più o meno verosimili.

Come si è visto i semiassi sono $A = h : b$, $B = a : \sqrt{b}$, ossia per la prima delle (4) in cui si faccia $k = 0$, $B = r_0 v_0 : \sqrt{b}$. Ponendo:

$$(7) \qquad h = A\,b \quad , \quad r_0 v_0 = B\sqrt{b} \quad , \quad k = 2\alpha\sqrt{b}\,.$$

essendo α una nuova costante proporzionale all'intensità del campo magnetico, le (5) e (6) divengono:

$$(8) \begin{cases} \dfrac{dt}{dr} = \pm \dfrac{r}{\sqrt{b}\sqrt{2Ar - r^2 - B^2 - 2\alpha B(r^2 - r_0^2) - \alpha^2(r^2 - r^{02})^2}} \\[2ex] \dfrac{d\theta}{dr} = \pm \dfrac{\alpha(r^2 - r_0^2) + B}{r\sqrt{2Ar - r^2 - B^2 - 2\alpha B(r^2 - r_0^2) - \alpha^2(r^2 - r_0^2)^2}} \\[2ex] \dfrac{d\theta}{dr} = \pm \dfrac{B - \alpha r_0^2}{r\sqrt{2Ar - r^2 - B^2 - 2\alpha B(r^2 - r_0^2) - \alpha^2(r^2 - r_0^2)^2}} \end{cases}$$

Digitized by Google

5. L'integrazione di queste equazioni non presenta difficoltà quando si supponga abbastanza piccola l'intensità del campo magnetico. È facile riconoscere che la quantità α ha le dimensioni dell'inversa d'una lunghezza, per cui i prodotti come αA, αr ecc. sono semplici numeri. Ora le (8) si possono sviluppare in serie secondo le potenze di queste grandezze numeriche, e conservare solo i termini di primo grado; ma si ha lo stesso risultato sviluppando rispetto ad α. Ponendo per brevità:

$$P^2 = -B^2 + 2Ar - r^2, \tag{9}$$

le (8) divengono:

$$\left\{\begin{aligned} \sqrt{b}\,\frac{dt}{dr} &= \pm r\left(\frac{1}{P} + \frac{\alpha B(r^2 - r_0^2)}{P^3}\right), \\ \frac{d\theta}{dr} &= \pm \frac{1}{r}\left(\frac{B}{P} + \alpha\,\frac{r^2 - r_0^2}{P} + \alpha\,\frac{B^2(r^2 - r_0^2)}{P^3}\right), \\ \frac{d\theta}{dr} &= \pm\left(\frac{B}{rP} - \frac{2Ar_0^2}{P^3} + \frac{\alpha r(B^2 + r_0^2)}{P^3}\right). \end{aligned}\right. \tag{10}$$

Come si vede le integrazioni da eseguire sono tutte della nota forma $\int \frac{r^m\,dr}{P^{\left(n + \frac{1}{2}\right)}}$ essendo m ed n numeri interi.

L'approssimazione delle formole (10) sarà scarsa se A e B differiscono poco fra loro, o se r poco differisce da $A \pm \sqrt{A^2 - B^2}$.

6. L'integrazione della seconda delle (10) dà:

$$\theta = \pm\left(\text{arc sen}\,\frac{Ar - B^2}{r\sqrt{A^2 - B^2}} + \alpha R\right) + c, \tag{11}$$

Digitized by Google

dove c è la costante d'integrazione. Si è posto per brevità:

$$(12)\quad \begin{cases} R = -A \operatorname{arc\,sen} \dfrac{A - r}{\sqrt{A^2 - B^2}} - P + Q \\ Q = \dfrac{A(B^2 - r_0^2)\, r - B^2 (B^2 + r_0^2) + 2 A^2 r_0^2}{P(A^2 - B^2)}. \end{cases}$$

Converremo inoltre di rappresentare con P_0, Q_0, R_0 ciò che divengono P, Q, R quando si sostituisce r_0 ad r.

Se si chiamano r_0 e θ_0 i valori di r e θ per $t = 0$, la (11) diviene:

$$(13)\quad \theta - \theta_0 = \pm \left[\operatorname{arc\,sen} \frac{Ar - B^2}{r\sqrt{A^2 - B^2}} - \operatorname{arc\,sen} \frac{Ar_0 - B^2}{r_0\sqrt{A^2 - B^2}} + \alpha(R - R_0) \right].$$

Ma si può avere un'ulteriore semplificazione scegliendo come asse, a partire dal quale si misurano gli angoli θ, l'asse maggiore della ellisse primitiva (cioè quella percorsa prima che si creasse il campo), e precisamente la retta che parte dall'origine, che è uno dei fuochi dell'ellisse, e va al più prossimo vertice di essa, pel quale si ha $r = A - \sqrt{A^2 - B^2}$.

La (13) diviene allora:

$$(14)\quad \theta = \mp \operatorname{arc\,sen}(-1) \pm \left[\operatorname{arc\,sen} \frac{A r - B^2}{r\sqrt{A^2 - B^2}} - \alpha(\ldots\ldots) \right].$$

Infine, se si suppone l'ellisse collocata come nella fig. 69, ove M è il punto di coordinate r_0, θ_0, in cui si trova l'elettrone nell'istante nel quale il campo viene

Digitized by Google

creato, si sapranno scegliere i valori di arc sen $\frac{A\,r - B^2}{r\sqrt{A^2 - B^2}}$, e si scriverà:

$$\theta = \text{arc cos}\,\frac{B^2 - A\,r}{r\sqrt{A^2 - B^2}} \pm \alpha\,(R - R_0), \tag{15}$$

e si prenderà per l'arco il valore numerico compreso fra 0° e 180°.

Rimane ancora da stabilire quale si debba assumere dei due segni, che precedono α, e quali valori attribuire agli archi, che figurano nelle espressioni di R ed R_0. Ma si toglie ogni incertezza tenendo conto della prima delle (10), la quale integrata diviene:

$$\begin{aligned} \sqrt{b}\,.\,t = \pm\Big(A\,\text{arc sen}\,\frac{A - r_0}{\sqrt{A^2 - B^2}} - A\,\text{arc sen}\,\frac{A - r}{\sqrt{A^2 - B^2}} + P_0 - P\Big) \\ \pm 3\alpha AB\Big(\text{arc sen}\,\frac{A - r_0}{\sqrt{A^2 - B^2}} - \text{arc sen}\,\frac{A - r}{\sqrt{A^2 - B^2}} \pm \alpha S\Big). \end{aligned} \tag{16}$$

ove con S si rappresenta una espressione contenente A, B, r_0, r, che non interessa conoscere, bastando che si sappia, che per ogni valore di r essa ha un unico valore.

Ora, perchè sia definita la traiettoria dell'elettrone e la legge con cui l'elettrone stesso la percorre, le due equazioni (15) e (16) devono sussistere insieme. Si utilizzerà quindi la (16) per raggiungere lo scopo.

Si consideri perciò, che l'espressione

$$P + A\,\text{arc sen}\,\frac{A - r}{\sqrt{A^2 - B^2}}$$

Digitized by Google

diminuisce col crescere di r, giacchè la sua derivata rispetto ad r è negativa. Perciò, se a partire dall'istante in cui si crea il campo, nel quale si ha $r = r_0$, il raggio vettore cresce o cala, l'espressione

$$A \text{ arc sen } \frac{A - r_0}{\sqrt{A^2 - B^2}} - A \text{ arc sen } \frac{A - r}{\sqrt{A^2 - B^2}} + P_0 - P$$

è rispettivamente positiva o negativa. Ora per $\alpha = 0$ la (16) si riduce a

$$\sqrt{b} \, . \, t = \pm \left(A \text{ arc sen } \frac{A - r_0}{\sqrt{A^2 - B^2}} - A \text{ arc sen } \frac{A - r}{\sqrt{A^2 - B^2}} + P_0 - P \right),$$

ed affinchè t risulti positivo e crescente, si dovrà prendere il segno superiore o l'inferiore secondo che il valore del raggio vettore r aumenta o diminuisce, allorchè t cresce a partire da $t = 0$. Ammesso quindi, che l'ellisse sia percorsa dall'elettrone nel senso in cui θ cresce, se ne conclude che nel valore t e per conseguenza anche nella (16) dovrà prendersi il segno superiore o l'inferiore secondo che θ_0 è minore o maggiore di 180°.

Così nel caso della fig. 69, nella quale M è il punto in cui si trova l'elettrone quando $t = 0$, ed il fuoco F dell'ellisse $A\,M\,B\,A'\,M'\,A$ è quello occupato dal ione, si dovrà scegliere il segno superiore nelle (15) e (16), mentre che, se per $t = 0$ l'elettrone fosse in M', si dovrebbe scegliere l'inferiore.

Infine, in quanto al valore da prendersi per arc sen $\frac{A - r}{\sqrt{A^2 - B^2}}$ si osservi che, detto per un momento ψ il

Digitized by Google

minimo valore numerico dell'arco che ha per seno $\frac{A - r}{\sqrt{A^2 - B^2}}$, è indifferente assumere ψ oppure $180^\circ - \psi$ come valore dell'arco, purchè si tratti nello stesso modo anche arc sen $\frac{A - r_0}{\sqrt{A^2 - B^2}}$. Ma sarà necessario far in modo che il valore di t risulti crescente mentre l'elettrone occupa i successivi punti della sua traiettoria.

6. Se, dopo aver moltiplicato per α i due membri della (16) e trascurati i termini in α^2, si somma membro a membro l'eguaglianza stessa colla (15), se ne ricava:

$$\theta + \alpha \sqrt{b}\, t = \text{arc cos} \frac{B^2 - Ar}{r\sqrt{A^2 - B^2}} \pm \alpha (Q - Q_0).$$

Si vede così che l'equazione:

$$\theta_1 = \text{arc cos} \frac{B^2 - Ar}{r\sqrt{A^2 - B^2}} \pm \alpha (Q - Q_0), \tag{17}$$

nella quale ancora dovrà prendersi davanti ad α il segno $+$ od il segno $-$ secondo che θ_0 è minore o maggiore di 180°, è quella della traiettoria *girante*, di cui si parlò nel § 2. Si trova infatti la (17) integrando l'ultima delle (10).

Colla (16) si può calcolare il periodo T del moto dell'elettrone su questa curva, e si trova subito:

$$T\sqrt{b} = 2\pi A (1 - 3\alpha B),$$

Digitized by Google

od anche, dicendo T_0 il periodo del moto ellittico che precede la creazione del campo, dato da

$$T_0 = \frac{2\pi A}{\sqrt{b}} = \frac{2\pi h}{b^{\frac{3}{2}}} = \frac{2\pi A^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{h}},$$

si ha:

$$(18)\quad T = T_0(1-3\alpha B) = T^0\left(1-\frac{3k\,r_0\,v_0}{2b}\right) = T_0\left(1-\frac{3}{2}kB\sqrt{\frac{A}{h}}\right).$$

Altrettanto facile è calcolare l'area s racchiusa dalla curva (17), giacchè si ha

$$(19)\quad s = \int_t^{T+t} \frac{1}{2} r^2 d\theta_1 = \frac{1}{2}\alpha T = \pi AB\left[1-\frac{\alpha}{B}(r_0^2+3B^2)\right].$$

Come si vede quest'area è minore di quella contenuta nella primitiva traiettoria ellittica.

Infine, se τ è il periodo relativo alla rotazione della traiettoria girante, si ha:

$$T = A\alpha\tau.$$

Quando τ è multiplo di T accade, che la vera traiettoria dell'elettrone, dopo aver descritto un certo numero di avvolgimenti intorno al ione, torna su sè stessa chiudendosi. Se invece τ e T non sono fra loro commensurabili la traiettoria non si chiude.

7. È necessario ora determinare il massimo ed il minimo di r. La loro conoscenza, non solo è utile, come si vedrà, per la costruzione grafica della traiettoria, ma

Digitized by Google

anche per le conseguenze a cui conduce relativamente alla teoria dei raggi magnetici.

Dalla prima delle (5) si ha

$$\frac{dr}{dt} = \pm \frac{\sqrt{b}}{r} \sqrt{2Ar - r^2 - B^2 - 2\alpha B(r^2 - r_0^2) - \alpha^2(r^2 - r_0^2)^2}.$$

Ora l'equazione $\frac{dr}{dt} = 0$, risolta rispetto ad r, dà precisamente i valori estremi del raggio vettore. Trascurando le potenze di α superiori alla prima si trova:

$$(21) \quad r = \frac{1}{1 + \alpha B}\left(A \pm \sqrt{A^2 - B^2 + \alpha B(\alpha B r_0^2 - B^2 + r_0^2)}\right).$$

Naturalmente si ha il massimo prendendo il segno superiore ed il minimo prendendo l'inferiore.

Dalla equazione (21), rammentando che il massimo ed il minimo di r sono rispettivamente $A + \sqrt{A^2 - B^2}$, $A - \sqrt{A^2 - B^2}$, quando non esiste il campo, si trae questa conseguenza, e cioè che tanto il valore massimo che il valore minimo di r diventano minori quando si crea il campo magnetico. Vi sono però due casi di eccezione, e cioè quello in cui $r_0 = A + \sqrt{A^2 - B^2}$, e quello in cui $r_0 = A - \sqrt{A^2 - B^2}$. Nel primo il massimo di r è r_0 cioè ha lo stesso valore come senza il campo; nel secondo caso in cui $r_0 = A - \sqrt{A^2 - B^2}$ il minimo di r è eguale ad r_0, come senza campo magnetico.

Dal punto di vista della teoria dei raggi magnetici questi specialissimi casi hanno poca importanza, non solo perchè in realtà il campo non può crearsi istantaneamente, ma anche pei compensi che nascono dal gran

Digitized by Google

numero di coppie elettrone-ione, che costituiscono quei raggi. Ciò che interessa dunque è il risultato generale, del diminuire cioè il valore tanto del massimo che del minimo.

Infatti, la durata d'uno dei sistemi elettrone-ione positivo è resa brevissima dalle perturbazioni prodotte su di esso coll'avvicinarsi di altre particelle, in quanto che possono, o sottrarre l'elettrone al predominio dell'attrazione su di esso esercitata dal ione positivo, o viceversa far sì che l'elettrone venga in certo modo assorbito dal ione con formazione d'un atomo neutro. Ora, dal momento che il campo rende minore il massimo allontanamento dell'elettrone dal ione mentre quello percorre la propria orbita, si intuisce come il primo dei due eventi possibili debba meno facilmente verificarsi. Si comprende così come il campo possa conferire una relativa stabilità alle coppie giranti.

D'altra parte, poichè il campo magnetico rende in generale minore la minima distanza dal ione a cui perviene l'elettrone durante il suo movimento, è chiaro che rimarrà reso più probabile il secondo evento. Ciò rende ragione del fatto importante stabilito sperimentalmente, secondo cui aumentando l'intensità del campo si arriva a fare cessare ogni manifestazione dei raggi magnetici. Che poi il secondo effetto richiede una maggior intensità di campo dipende da ciò, che è in generale più considerevole la diminuzione del valor massimo, che quella del valore minimo del raggio vettore.

È quasi superfluo avvertire, che tutte le conseguenze messe in rilievo si mutano in quelle contrarie, se si suppone invertito il senso della rivoluzione dell'elettrone, oppure il senso in cui è diretta la forza magnetica.

Digitized by Google

8. Onde acquistare una chiara idea del moto dell'elettrone attorno al ione nel campo magnetico, ho voluto dare una rappresentazione obbiettiva della traiettoria da esso percorsa, disegnandola punto per punto, dopo averne calcolato le coordinate per mezzo delle

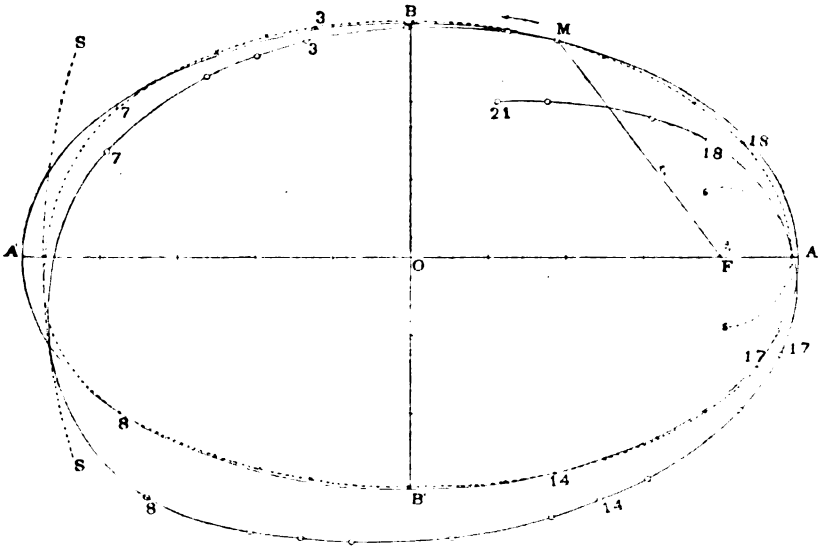

Figura 69.

formole (15) e (17). Attribuiti ad A, B, r_0, α valori scelti a piacere, ho calcolato i valori di θ e di θ_1 corrispondenti a diversi valori numerici dati successivamente ad r, dopo di che ho messo a posto in un disegno i corrispondenti punti della vera traiettoria dell'elettrone (θ), non che quelli della traiettoria girante (θ_1).

La seguente tabella dà il risultato dei calcoli in un caso speciale, e contiene: nella 1ª colonna il numero

Digitized by Google

d'ordine dei punti, di cui si sono calcolate le coordinate; nella 2ª i valori successivamente attribuiti ad r; nella 3ª i valori di θ per $\alpha = 0$, cioè quelli da cui risulterebbe tracciata l'ellisse di semi assi A e B; nella 4ª i valori di θ; nella 5ª i valori di θ_1. Coi numeri delle colonne 2ª e 4ª si sono segnati i punti della traiettoria dell'elettrone, che nella fig. 69 sono rappresentati da piccoli cerchi, mentre che coi valori della 2ª e della 5ª colonna si sono messi a posto vari punti (rappresentati con una piccola croce) della traiettoria girante. Si sarebbe potuto costruire per punti anche l'ellisse utilizzando la 2ª colla 3ª colonna; ma naturalmente fu trovato più comodo disegnarla coi metodi usuali. Anzi la 3ª colonna è destinata unicamente a mostrare in che rapporto stà l'ellisse colle altre due curve anche in quei tratti nei quali, stante la piccola scala a cui fu ridotto il disegno, le tre curve non risultano ben distinte. Alcuni dei numeri della 1ª colonna (non tutti per non rendere la figura troppo carica di segni) sono stati indicati nel disegno presso i punti corrispondenti. Infine, si sono indicati in testa alla tabella i valori numerici attribuiti alle quantità A, B, r_0, α. Naturalmente l'unità di lunghezza è arbitraria.

$$A = 5 \quad ; \quad B = 3 \quad ; \quad r_0 = 3{,}5 \quad ; \quad \alpha = 0{,}01 \ (^1).$$

(1) Con questi valori di α e di A si ha $\alpha A = \frac{1}{20}$. Tale frazione d'unità non è forse abbastanza piccola perchè l'approssimazione delle formole risulti soddisfacente; ma ho dovuto contentarmene pel motivo, che adottando per α un valore alquanto minore le curve sarebbero risultate assai poco separate l'una dall'altra.

Digitized by Google

Num. d'ordine	r	$\theta\ (\alpha = 0)$	θ	θ_1
1	3,5	127°,38	127°,38	127°,38
2	4	133, 48	133, 49	133, 21
3	5	143, 13	143, 59	142, 66
4	6	151, 04	152, 24	150, 51
5	6,5	154, 66	156, 40	154, 20
6	7	158, 21	160, 61	157, 87
7	8	165, 64	170, 20	166, 06
8	8	194, 36	203, 07	194, 78
9	7	201, 79	210, 19	201, 45
10	6,5	205, 33	213, 86	204, 86
11	6	208, 96	217, 70	208, 42
12	5	216, 87	226, 33	216, 39
13	4	226, 57	237, 07	226, 34
14	3,5	232, 62	243, 82	232, 62
15	3	240	252, 07	240, 33
16	2	262, 82	277, 71	264, 56
17	1,5	248, 48	302, 47	288, 30
18	1,5	75, 52	95, 92	78, 85
19	2	97, 18	116, 25	98, 92
20	3	120	138, 07	120, 33
21	3,5	127, 38	145, 38	127, 38

Nella fig. 69 la curva a tratto interrotto passante per le piccole croci rappresenta la traiettoria girante; quella a tratto continuo passante per i piccoli cerchi rappresenta un primo ramo della traiettoria effettiva. Per prolungarla non si avrebbe a far altro che segnare i punti aventi per coordinate i numeri della 2ª e 4ª colonna, dopo avere aumentato quelli di quest' ultima della quantità $2\pi A\alpha = 18°$, poi di nuovo dopo averli ulteriormente

Digitized by Google

aumentati della stessa quantità e così di seguito. O, ciò che equivale, non si avrebbe che da disegnare nuovamente il ramo già tracciato che comincia in M e termina nel cerchietto segnato 21, dopo averlo spostato angolar-

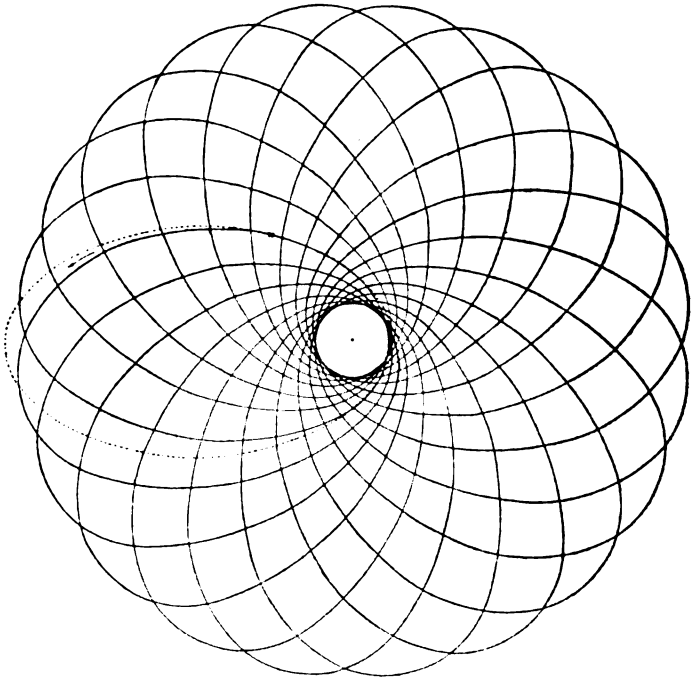

Figura 70.

mente e nel senso della freccia intorno al punto F, prima di 18°, poi di 36°, ecc.

Nel caso speciale la traiettoria finisce col chiudersi, dopo aver formato 20 avvolgimenti. Essa è rappresentata completa nella fig. 70, in scala minore che nella fig. 69,

Digitized by Google

insieme all'ellisse primitiva, che nella stessa fig. 70 è tracciata a tratto interrotto.

Si scorge facilmente osservando la fig. 69 che i punti di numeri d'ordine 7 e 8 sono alquanto lontani l'uno dall'altro, e che per conseguenza il tracciare a mano il tratto di traiettoria fra essi compreso presenta maggior incertezza ed arbitrarietà che nelle altre porzioni della curva. Per avere punti più prossimi sarebbe stato necessario dare valori più grandi ad r; ma allora P sarebbe divenuto assai piccolo, e in conseguenza di ciò si sarebbe reso troppo manifesto l'errore dovuto all'essersi trascurati i termini contenenti α a potenze superiori alla prima. Però viene qui in aiuto la conoscenza del massimo valore di r, il quale, calcolato colla (21) (segno superiore) risulta nel caso speciale uguale a circa 8,75. Descritto infatti un arco di cerchio SS (fig. 69) avente 8,75 di raggio e col centro in F, si traccieranno le due curve in modo, che esse riescano tangenti internamente all'arco medesimo.

Similmente, le due curve debbono risultare tangenti esternamente all'arco di cerchio ss di centro F e di raggio 0,96, essendo questo il valore minimo di r calcolato colla (21) (segno inferiore) nel caso speciale della tabella.

Si vede chiaramente, che la curva s tratto interrotta della fig. 69 differisce poco dall'ellisse. E siccome la somma del massimo e del minimo di r è eguale, in virtù della (21), a $2A : (1 + \alpha B)$, e perciò è minore dell'asse maggiore dell'ellisse, così si può dire, che la traiettoria girante poco differisce da una ellisse, il cui asse maggiore sia più piccolo di quello della ellisse primitiva.

9. Una volta fatti i disegni delle fig. 69 e 70, era

Digitized by Google

naturale che sorgesse la curiosità di vedere in qual modo si modificava la traiettoria dell'elettrone mutando i dati numerici fondamentali, vale a dire, o prendendo come

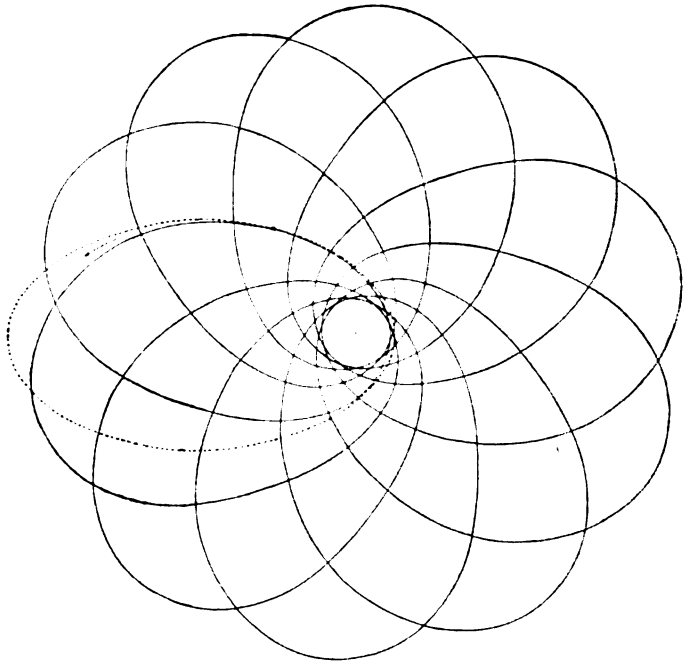

Figura 71.

orbita dell'elettrone prima della creazione del campo una ellisse di differente eccentricità, o attribuendo una diversa intensità oppure una direzione opposta al campo magnetico, o cambiando il luogo occupato sull'ellisse nell'istante in cui il campo entra in azione.

Digitized by Google

Un certo numero di disegni di tal genere troverà il lettore nella Memoria citata al principio di questa Appendice, ove potrà inoltre informarsi circa le analogie e le differenze che esistono fra la questione trattata e quella dalla cui soluzione si ricava la nota teoria elementare del fenomeno di Zeeman. Mi limiterò a riprodurre nella fig. 71 uno solo di quei disegni.

La traiettoria rappresentata in questa figura, insieme alla primitiva ellisse (a tratto interrotto) corrisponde ad uno stato di cose, che differisce da quello cui si riferisce la fig. 70 soltanto in ciò, che al campo magnetico si è attribuita una doppia intensità. Basta confrontare fra loro le fig. 70 e 71 per rendersi conto della maniera nella quale si modifica la traiettoria dell'elettrone quando varia il campo magnetico.

10. In relazione a quanto fu asserito alla pag. 84 giova osservare, che si ha una soluzione speciale delle equazioni (1) ponendo $x = r \cos \omega t$, $y = r \operatorname{sen} \omega t$ essendo r ed w due costanti. Basta soltanto che si abbia

$$r\omega^2 = \frac{h}{r^2} + kr\omega.$$

La traiettoria in questo caso è la circonferenza di raggio r, ed è percorsa dall' elettrone colla velocità data da $v^2 = \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = r^2 \omega^2$. La precedente equazione si può scrivere quindi:

$$v^2 = \frac{h}{r} + kr v,$$

da cui

$$v = \frac{1}{2}\left(kr \pm \sqrt{k^2 r^2 + \frac{4h}{r}}\right).$$

Digitized by Google

Il valore positivo di v, cioè $v = \frac{1}{2}\left(kr + \sqrt{k^2r^2 + \frac{4h}{r}}\right)$ mostra che, a parità di raggio, la velocità con cui è percorsa la traiettoria circolare è maggiore quando esiste il campo magnetico, come è stato asserito appunto alla pag. 84.

Digitized by Google

APPENDICE *B*

Sul moto d'un elettrone in un campo magnetico uniforme.

Assumendo come asse delle z la direzione del campo d'intensità M, le equazioni del moto per l'elettrone di carica $-e$ e di massa m, sono:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -k\frac{dy}{dt}\ ,\quad \frac{d^2y}{dt^2} = k\frac{dx}{dt}\ ,\quad \frac{d^2z}{dt^2} = 0\,,$$

se si pone, come nell'Appendice *A*: $mk = \mathrm{M}e$.

Eseguendo le facili integrazioni, supponendo si abbia $x = y = z = 0$ per $t = 0$, e chiamando u_0, v_0, w_0, le componenti secondo gli assi della velocità dell'elettrone all'istante $t = 0$, si trova, come ognuno può verificare:

$$kx = u_0 \operatorname{sen}(kt) - v_0\Big(1 - \cos(kt)\Big),$$

$$ky = u_0\Big(1 - \cos(kt)\Big) + v_0 \operatorname{sen}(kt)\,,$$

$$z = w_0\, t\,;$$

$$\frac{dx}{dt} = u_0 \cos(kt) - v_0 \operatorname{sen}(kt)\,,$$

Digitized by Google

$$\frac{dy}{dt} = u_0 \operatorname{sen}(kt) + v_0 \cos(kt),$$

$$\frac{dz}{dt} = w_0.$$

Se si elimina t fra le due prime di queste equazioni si ha:

$$k(x^2 + y^2) + 2 v_0 x - 2 u_0 y = 0,$$

che è l'equazione d'una circonferenza passante per l'origine, il cui raggio è $\frac{1}{k}\sqrt{u_0^2 + v_0^2}$, ed il cui centro, giacente nel piano xy, ha per coordinate $-\frac{v_0}{k}$, $\frac{u_0}{k}$. Siccome poi la velocità con cui la proiezione sul piano xy dell'elettrone in moto percorre questa circonferenza è data da

$$\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} = \sqrt{u_0^2 + v_0^2},$$

e quindi è costante, così si vede, che il moto dell'elettrone nello spazio è quello che risulta dalla composizione del moto circolare uniforme sulla circonferenza precedente, e del moto rettilineo uniforme di velocità w_0 secondo la direzione del campo. Dunque l'elettrone percorre un'elica cilindrica, il cui asse è parallelo alla direzione del campo magnetico. Il raggio della sezione del cilindro, che è:

$$\frac{m\sqrt{u_0^2 + v_0^2}}{Me},$$

Digitized by Google

è in ragione inversa dell'intensità del campo; il passo dell'elica, (che non è altro che lo spazio percorso nel moto rettilineo parallelo a z nel tempo in cui è descritta la intera circonferenza nel moto circolare) è $\frac{2\pi m w_0}{Me}$, e cioè esso pure in ragione inversa dell'intensità del campo.

Digitized by Google

Digitized by Google

APPENDICE *C*

Moto d'un elettrone sotto l'azione di un campo magnetico e di un campo elettrico, entrambi uniformi.

Sia M l'intensità del campo magnetico, E quella del campo elettrico, e prendiamo per origine delle coordinate il punto occupato dall'elettrone all'istante $t = 0$, per asse delle z la parallela alla direzione del campo magnetico, e per asse delle y la retta perpendicolare alle direzioni dei due campi, di modo che la parallela al campo elettrico condotta dall'origine giacerà nel piano xz. Sia α l'angolo che essa fa coll'asse delle z, ossia l'angolo fra le direzioni dei due campi.

Se $-e$ è la carica rappresentata dall'elettrone, m la massa di questo, e si pone $mh = Ee$, e come nell'Appendice *A*: $mk = Me$, le equazioni del moto evidentemente saranno:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -k\frac{dy}{dt} + h \operatorname{sen} \alpha,$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = k\frac{dx}{dt},$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = h \cos \alpha.$$

Digitized by Google

Integrando, e chiamando u_0, v_0, w_0 le componenti della velocità iniziale, si trova facilmente:

$$x = \frac{u_0}{k} \operatorname{sen}(kt) - \frac{hv_0 - h \operatorname{sen} \alpha}{k^2} \Big(1 - \cos(kt)\Big),$$

$$y = \frac{u_0}{k} \Big(1 - \cos(kt)\Big) + \frac{hv_0 - h \operatorname{sen} \alpha}{k^2} \operatorname{sen}(kt) + \frac{h \operatorname{sen} \alpha}{y} t,$$

$$z = w_0 t + \frac{1}{2} h t^2 \cos \alpha.$$

Interessa particolarmente il caso speciale di $\alpha = 90^0$, cioè quello nel quale i due campi sono ortogonali.

Le precedenti equazioni si riducono allora assai più semplici, e cioè si ha:

$$x = \frac{u_0}{k} \operatorname{sen}(kt) - \frac{kv_0 - h}{k^2} \Big(1 - \cos(kt)\Big),$$

$$y = \frac{u_0}{k} \Big(1 - \cos(kt)\Big) + \frac{kv_0 - h}{k^2} \operatorname{sen}(kt) + \frac{h}{k} t,$$

$$z = w_0 t.$$

Il moto dell' elettrone, rappresentato da queste equazioni, si può considerare come risultante di due moti, e cioè del moto rappresentato dalle equazioni:

$$\begin{cases} x = \dfrac{u_0}{k} \operatorname{sen}(kt) - \dfrac{kv_0 - h}{k^2} \Big(1 \cos(kt)\Big) \\ y = \dfrac{u_0}{k} \Big(1 - \cos(kt)\Big) + \dfrac{kv_0 - h}{k^2} \operatorname{sen}(kt), \end{cases}$$

Digitized by Google

e dal moto rappresentato dalle equazioni:

$$\begin{cases} y = \frac{h}{k}\, t \\ z = w_0\, t \end{cases}$$

Il primo di questi moti componenti è un moto circolare, giacchè eliminando t si trova:

$$k^2(x^2+y^2)+(kv_0-h)\,x-2\,ku_0\,y=0,$$

che è l' equazione d' una circonferenza giacente nel piano xy, passante per l'origine, di raggio $\frac{1}{k}\sqrt{u_0^2+\left(v_0-\frac{h}{k}\right)^2}$, e le coordinate del cui centro sono $-\frac{1}{k}\left(v_0-\frac{h}{k}\right)$, $\frac{u_0}{k}$. Inoltre questo moto circolare è altresì uniforme, perchè si trova a calcoli fatti, che la velocità di esso è data da

$$\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2}=\sqrt{u_0^2+\left(v_0-\frac{h}{k}\right)^2}.$$

Il secondo moto componente è evidentemente rettilineo ed uniforme. La sua direzione fa coll'asse delle z un angolo φ dato da

$$\operatorname{tang}\varphi=\frac{h}{kw_0},$$

mentre la velocità è $\sqrt{w_0^2+\frac{h^2}{k^2}}$.

Digitized by Google

Il moto risultante dell' elettrone è dunque tale, che esso percorre una specie di elica su un cilindro obbliquo a base circolare.

Qualora non esistesse il campo elettrico, cioè fosse $k = 0$, si ricadrebbe nel caso dell' Appendice B, e il cilindro su cui è tracciata l' elica sarebbe parallelo al campo magnetico.

Dunque per effetto del campo elettrico questo cilindro diviene obbliquo, e cioè le sue generatrici s' inclinano di un angolo φ nel piano perpendicolare alla direzione del campo medesimo.

Nel caso d' un fascetto di raggi catodici, e di un campo magnetico così intenso, che il raggio della base del cilindro (che è in ragione inversa di k e quindi di M) divenga piccolissimo, non sarà possibile distinguere nettamente la forma elicoidale assunta dal fascetto catodico, il quale invece mostrerà una forma sensibilmente cilindrica e parallela alla direzione del campo magnetico. Se allora entra in azione il campo elettrico, si vedrà quel fascetto luminoso inclinarsi d' un angolo φ in un piano perpendicolare alla direzione del campo medesimo. Resta così spiegata l' esperienza del Villard descritta verso la fine della pagina 119.

Dalle formole relative al caso di $\alpha = 90°$ scritte più sopra si deducono le relazioni utilizzate nelle esperienze, che servirono a determinare la velocità v delle particelle catodiche ed il rapporto $\frac{e}{m}$ relativo alle medesime. Così, per l' esperienza nella quale si fanno agire sopra un fascio parallelo di raggi catodici un campo elettrico ed un campo magnetico di direzioni perpendicolari fra loro

Digitized by Google

e perpendicolari al fascio catodico, si dovrà porre $u_0 = w_0 = 0$, $v_0 = v$, con che le formole divengono:

$$x = -\frac{kv - h}{k^2}\left(1 - \cos(kt)\right),$$

$$y = \frac{kv - h}{k^2}\,\mathrm{sen}\,(kt) + \frac{h}{k}\,t,$$

$$z = 0.$$

Se le intensità dei due campi sono regolate in modo, che si abbia $kv - h = 0$, ossia $v = \frac{h}{k} = \frac{E}{M}$, si trova:

$$x = 0, y = \frac{E}{M}\,t = vt,\ z = 0,$$

e cioè il fascio catodico conserva la sua forma rettilinea, come se i due campi E ed M non esistessero.

Digitized by Google

Digitized by Google

APPENDICE *D*

Sull' " anodo virtuale ", di un tubo di scarica nel campo magnetico [1].

In relazione a quanto è detto nel § 33 circa l'esistenza di un ***anodo virtuale***, dovuto al periodico accumularsi in una determinata regione del tubo dei ioni positivi rimasti liberi dallo sciogliersi delle coppie costituenti i raggi magnetici, gioverà riportare alcune recenti esperienze di conferma.

Esse si eseguiscono introducendo nel tubo una sonda, cioè l'estremità di un breve e sottile filo metallico comunicante con uno dei serrafili di un galvanometro, di cui l'altro serrafilo comunica col suolo. Se realmente ha luogo il periodico accumularsi di ioni positivi in una certa regione del tubo, non appena la sonda giunga in tale regione dovrà osservarsi una deviazione galvanometrica indicante una corrente diretta dalla sonda alla terra.

Lo strumento da me adoperato è un galvanometro a campo fisso che, colla scala posta a m. 1,43 da esso, dà la deviazione di un millimetro per una corrente di $6{,}65.10^{-10}$ ampère. Esso fu accuratamente isolato, e nella comunicazione colla sonda fu inserita una resistenza di

(1) Dai *Rendiconti della R. Accademia dei Lincei*, 20 giugno 1909.

Digitized by Google

circa 3160 mégaohm, costituita da tubi capillari contenenti alcool.

All'apparecchio di scarica fu data o la forma della fig. 72 o quella della fig. 73. In entrambi i casi il catodo esce di poco dal foro assiale del rocchetto destinato a produrre il campo magnetico, l'intensità del quale decresce rapidamente andando lungo il tubo da destra a sinistra.

Nel tubo fig. 72 sono poste otto sonde fisse distanti 4 cm. una dall'altra, che si cercò di fare sotto ogni

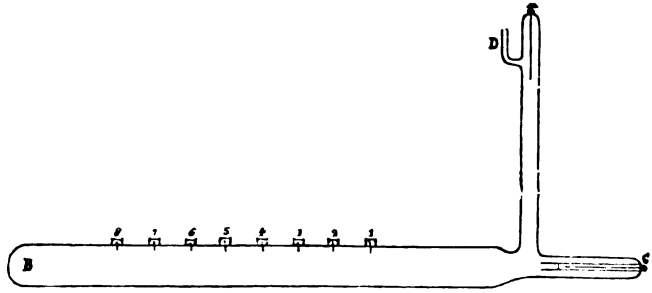

Figura 72.

rapporto identiche fra loro. Ciascuna di esse consta di un filo di platino di pochi millimetri di lunghezza saldato nel vetro ed esternamente circondato da un piccolo serbatoio con mercurio destinato a stabilire la comunicazione col galvanometro. Ponendo le sonde una dopo l'altra in comunicazione con questo strumento quando non v'è campo magnetico, e la corrente fornita da una batteria di piccoli accumulatori (nel cui circuito è inclusa una fortissima resistenza) passa nel tubo, si hanno deviazioni, che decrescono passando dalla sonda 1 alla 2 e successivamente alle altre sonde sino alla 8. Ciò è ben

Digitized by Google

naturale perchè la sonda comunicante col galvanometro funziona da catodo, quantunque assai debolmente stante la enorme resistenza impiegata. Portate le deviazioni come ordinate sopra i punti 1, 2..... 8, verificai, che mentre le estremità della maggior parte di esse venivano a trovarsi sempre sopra una curva poco differente da una retta discendente verso sinistra, le estremità delle altre uscivano alquanto a quella curva. Ciò si spiegava naturalmente come effetto di qualche diversità delle corri-

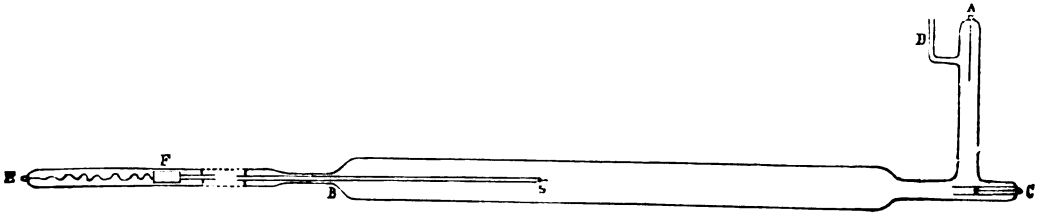

Figura 73.

spondenti sonde, che si cercò di far sparire. Dopo lunghi tentativi ebbi un tubo, di cui una sola sonda sembrava differente dalle altre. Per non prolungare ulteriormente la non facile preparazione di simili tubi mi contentai dell'ultimo ottenuto, ma adoperai solo le sette sonde, che sembravano possedere nn identico comportamento.

Il tubo della fig. 73 ha una sola sonda, ma questa può muoversi a piacere lungo il suo asse. Essa consiste in un filo di platino che sporge di qualche millimetro da un lungo cannello di vetro S a cui è saldato, e questo cannello si può far scorrere lungo l'asse dell'apparecchio, spostando un rocchetto percorso da un'intensa corrente infilato sul lungo tubo *EB*, e che trascina il cilindro di ferro *F*.

Digitized by Google

Quando il tubo di scarica funziona e si ha deviazione al galvanometro, si nota intorno alla sonda (una delle otto della fig. 72 o l'unica della fig. 73) un debole chiarore azzurro-violetto, dovuto a ciò che la sonda fa da catodo; ma poichè l'aspetto della scarica non resta sensibilmente modificato isolando la sonda, è lecito ammettere che la perturbazione introdotta da questa non abbia molta importanza. Nel caso del tubo della fig. 73, quella debole luminosità si prolunga in certi casi intorno al cannello della sonda, particolarmente quando questa penetra assai nella regione occupata dall'anodo virtuale, ciò che forse toglierebbe fiducia alle esperienze, se queste fossero dirette a determinare la distribuzione del potenziale. Ma, come si vedrà fra poco, l'impiego della sonda ebbe uno scopo più modesto.

Per dare idea dei risultati ottenuti riporterò qualche misura, cominciando da alcune realizzate coll'apparecchio fig. 1, nel quale l'aria aveva la pressione di 0,20 mm., mentre la corrente di scarica era assai debole e precisamente di 62.10^{-6} ampère.

1		3		8	
Campo	Deviazione	Campo	Deviazione	Campo	Deviazione
0	115	0	103	0	80
280	126	280	111	410	84
410	154	410	122	535	88
602	306	629	269	748	140
656	297	670	299	800	260
800	259	735	288	820	276
1010	240	800	268	910	257
1215	234	910	245	1215	242
—	—	1215	237	—	—

Digitized by Google

La prima colonna contiene l'intensità del campo magnetico in unità assolute misurato, come sempre, a 15 mm. dalla faccia polare del rocchetto; la seconda colonna dà le deviazioni galvanometriche mentre la sonda 1 della fig. 72 comunicava col galvanometro. Come si vede al crescere del campo la deviazione cresce sino ad un massimo, che si manifesta piuttosto bruscamente, e poi gradatamente di nuovo diminuisce. Tutto accade dunque come se entro il tubo esistesse un anodo, e questo fosse spinto di più in più verso sinistra, quando si aumenta l'intensità del campo. Ora tale appunto doveva essere il risultato, se l'anodo virtuale ha l'origine supposta, giacchè infatti i ioni positivi devono giungere tanto più lontani dal catodo, quanto più intenso è il campo magnetico.

La terza e quarta colonna dànno gli analoghi risultati ottenuti impiegando la sonda 3; le ultime colonne quelli relativi alla sonda 8. Dal confronto dei numeri relativi alle tre sonde si scorge poi, che il massimo di deviazione si verifica per un valore del campo tanto più elevato, quanto più la sonda adoperata è lontana dal catodo; ciò che è in pieno accordo colle previsioni.

La tabella seguente dà alcuni dei risultati ottenuti col tubo della fig. 73, mentre la pressione dell'aria in esso era di 0,05 mm. e la corrente di scarica 57.10^{-6} ampère, tenendo costante l'intensità del campo magnetico e scandagliando colla sonda mobile l'asse dell'apparecchio.

Digitized by Google

	410	535	670	1375
150	232	216	213	180
300	224	212	—	—
400	210	—	—	183
450	37	202	213	—
500	20	—	210	186
550	0	21	100	—
600	0	—	12	191
650	0	4	5	—
700	0	0	—	197

La prima colonna verticale indica in millimetri la distanza dal catodo alla quale la sonda venne successivamente posta; la prima linea orizzontale indica i valori del campo magnetico per ciascuna delle quattro serie di misure, i cui risultati (deviazioni in mm.) sono trascritti sotto. Si vede facilmente, che col campo di 410 unità la sonda mobile, che partendo da lontano veniva avvicinata al catodo, non cominciò a funzionare che quando fu a mezzo metro da questo, e che accostandola di più la deviazione crebbe rapidamente.

Osservando le colonne successive si scorge poi chiaramente, come il supposto anodo virtuale si formi di più in più lontano dal catodo, quando si aumenta l'intensità del campo magnetico, al punto anzi che, con campo di 1375 unità si raccoglie una corrente più intensa quando la sonda è a 70 centimetri dal catodo che quando è più vicina. In quest'ultima circostanza si osserva il chiarore menzionato più sopra intorno al cannello circondante il filo della sonda; non si può quindi a rigore essere sicuri dell'attendibilità delle prime cifre dell'ultima

Digitized by Google

colonna; ma resta nondimeno messo in rilievo il considerevole allontanamento dell'anodo virtuale dal catodo.

Le esperienze fatte col tubo fig. 73 sono dunque, non meno delle prime, favorevoli alla ipotesi da me proposta.

Digitized by Google

Digitized by Google

APPENDICE *E*

Sui valori limiti del campo fra i quali si producono i raggi magnetici [1].

I valori del campo, che corrispondono all'apparire e allo sparire dei raggi magnetici, dipendono da un gran numero di circostanze, e principalmente dalla forma e dimensioni del tubo di scarica, dalla pressione dell'aria nel medesimo, dalla forma e grandezza del catodo, e dall'intensità della corrente di scarica; ma non sempre si riesce a determinarli, sia perchè il cambiamento può avvenire con lentezza, sia perchè può aver luogo con intensità di campo o piccolissime o grandissime.

Per mettere qualche ordine e chiarezza in questo comportamento apparentemente irregolare, mi è sembrato utile cercare di realizzare possibilmente tali condizioni sperimentali, che tanto l'apparire dei raggi magnetici quanto la loro scomparsa avvengano in modo ben netto, e per valori del campo nè troppo piccoli, nè troppo elevati. Era sperabile che modificando poscia qualche poco ad una ad una le condizioni sperimentali, si sarebbe riusciti a riconoscere in che senso si manifesta la loro influenza.

[1] Da una Nota pubblicata nei *Rendiconti della R. Accademia dei Lincei*, 5 giugno 1909.

Digitized by Google

Siccome poi avevo già constatato, non solo che nei tubi della forma da me adottata, al crescere dell'intensità del campo magnetico aumenta la differenza di potenziale fra gli elettrodi del tubo, ma che nel momento in cui appariscono i raggi magnetici si accentua fortemente la rapidità con cui cresce quella differenza, e che inoltre alla sparizione dei raggi corrisponde una diminuzione della differenza stessa; così, anzichè limitarmi ad osservare la luminosità nel tubo, ho istituito delle misure sistematiche dei potenziali di scarica corrispondenti a valori gradatamente crescenti del campo magnetico.

Questa intensità era sempre dedotta per via di interpolazione da un certo numero di determinazioni preventivamente fatte col metodo della polarizzazione rotatoria nel solfuro di carbonio. Simile valutazione, certamente non molto precisa, anche perchè con essa non si tien conto dei fenomeni d'isteresi nel nucleo, era però sufficiente per lo scopo in vista. Secondo la regola sempre seguita, i valori del campo si riferiscono ad un punto dell'asse del rocchetto distante un centimetro e mezzo dal rocchetto, e cioè presso a poco al luogo occupato ordinariamente dal catodo. La differenza di potenziale venne poi misurata mediante un voltametro elettrostatico di Kelvin.

Il tubo di scarica adoperato è quello rappresentato in giuste proporzioni ma in piccola scala dalla fig. 74. Il lettore potrà eventualmente valutare le dimensioni delle varie sue parti, sapendo che il largo tubo AB aveva il diametro di 47 mm.

In M sta l'anodo, ed N è il catodo, in forma di dischetto munito di un gambo metallico e circondato da un cannello di vetro ND che lo sopravanza. La sola

Digitized by Google

differenza fra il tubo della fig. 74 ed i tubi adoperati in varie mie antecedenti esperienze sta in ciò, che il catodo, invece di essere saldato alla estremità del tubo *ABC*, è fissato in *L* con ceralacca ad un tubo *CL* riunito al tubo principale per mezzo di una giuntura a smeriglio. Tale disposizione rendeva facile lo scambio del catodo.

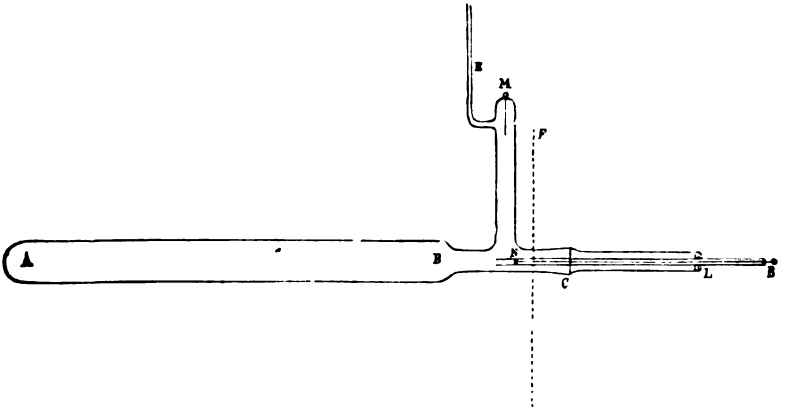

Figura 74.

Rarefatta l'aria sino al grado voluto mediante una pompa rotativa a mercurio e attraverso il cannello *E*, e fatti comunicare gli elettrodi coi poli di una batteria di 2600 piccoli accumulatori, il cui circuito conteneva delle resistenze variabili e grandissime (colonne d'alcool) nonchè un galvanometro tarato, si leggeva la differenza di potenziale agli elettrodi, poi si ripeteva tale misura un gran numero di volte, dopo avere eccitato il campo magnetico e aumentata grado a grado l'intensità di questo. Come sempre, il campo era prodotto da un rocchetto, la cui faccia polare giungeva in *F*, poichè la

Digitized by Google

porzione *CLD* del tubo di scarica penetrava nel foro del nucleo.

Compiuta una tale serie di misure, se ne fecero altre, dopo avere variato o la pressione dell' aria, o l' intensità della corrente di scarica ecc.

Non occorre trascrivere tutti i risultati numerici così raccolti, perchè essi conducono a conclusioni, le quali fra loro concordano benissimo; giova però riportare sette di tali serie scelte in modo, che dal loro confronto risultino utili conclusioni.

Catodo 7 mm Pressione 0,40 Corrente 74.10—6		7 0,40 136.10—6		7 0,40 191.10—6		7 0,40 389.10—6		7 0,24 136.10—6		7 0,67 136.10—6		4 0,40 74.10—6	
A		B		C		D		E		F		G	
0	670	0	680	0	700	0	800	0	800	0	680	0	910
205	680	205	690	280	740	410	870	160	890	160	690	205	920
250	690	280	700	384	760	535	900	280	900	338	730∧	280	930
280	700	332	705	410	800	735	960	410	960∧	472	1090	358	990
306	710	358	720	460	810	774	980∧	485	1040	522	1230	384	1060
319	720∧	384	730∧	535	900∧	822	1150	629	1380	602	1370	397	1140
410	1160	435	1110	602	1180	888	1260	761	1630	643	1250∨	410	1190∧
535	1570	485	1340	643	1260	1010	1300	822	1570∨	709	1120	472	1450
670	1710	535	1450	670	1290	1215	1320	980	1613	774	1169	910	1890
709	1610∨	629	1530	722	1330	—	—	1050	1650	844	1200	1115	2000
787	1430	670	1425∨	787	1170∨	—	—	—	—	1010	1280	1215	2040
844	1380	709	1350	822	1150	—	—	—	—	1215	1380	1337	2100
910	1380	774	1300	888	1220	—	—	—	—	—	—	1450	2120
—	—	960	1430	1010	1300	—	—	—	—	—	—	1515	2100∨
—	—	1010	1440	1215	1340	—	—	—	—	—	—	1635	1950
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1705	1900
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1793	1850

Per ciascuna delle sette serie di misure *A, B,.... G*, i numeri della prima colonna dànno l' intensità del campo magnetico in unità assolute, e quelli della seconda

Digitized by Google

la differenza di potenziale agli elettrodi espressa in volta. In alto sono poi notati: il diametro del catodo in millimetri, la pressione dell'aria in mm. di mercurio, e l'intensità della corrente che attraversa il tubo espressa in ampère.

Per acquistare un'idea chiara del modo nel quale varia il potenziale di scarica al variare del campo, giova esaminare una delle serie, per esempio la prima.

Senza campo magnetico il potenziale di scarica era di 670 volta; poi assunse valori gradatamente crescenti, sino alla lettura fatta col campo 319; ma passando al campo 410, l'aumento di potenziale fu assai grande. In pari tempo mutò improvvisamente l'aspetto della scarica, e cioè si deformò in un modo speciale la colonna positiva nel ramo laterale, mentre il breve fascio divergente di raggi catodici uscente dal catodo si allungò d'un tratto, divenendo più brillante e assumendo la forma di tubo di forza. In una parola comparvero i raggi magnetici. Aumentando ancora il campo, il potenziale di scarica seguitò a crescere sino ad un massimo; dopo di che si ebbe una diminuzione abbastanza rapida, accompagnata da una nuova modificazione nell'aspetto della scarica. Tale modificazione consiste in ciò, che il fascio di raggi magnetici s'accorcia e impallidisce rapidamente e poi sparisce affatto. Infine, dopo una discesa del potenziale sino ad un minimo, si verificò generalmente un lento aumento paragonabile a quello osservato nel periodo iniziale.

La curva segnata 74 (intensità della corrente in microampère) nella fig. 75 fu disegnata prendendo come ascisse i valori del campo magnetico della serie *A*, e come ordinate quelli della differenza di potenziale. Tanto

Digitized by Google

nella tabella che nella figura, si è indicato con una freccia rivolta all' insù l' apparizione dei raggi magnetici, e con una freccia rivolta all' ingiù la loro scomparsa.

È bene chiarire in che consista realmente questa scomparsa. Per un certo valore del campo i raggi magne-

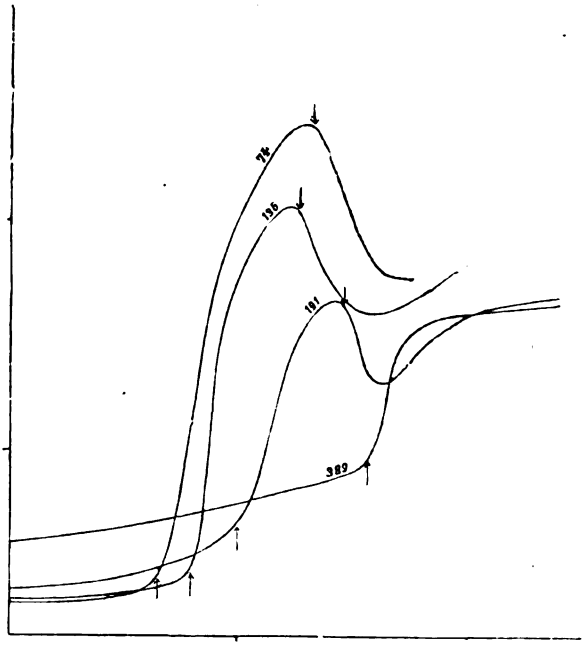

Figura 75.

tici si affievoliscono più o meno rapidamente e scompaiono, senza però che l'aspetto della scarica torni quello che si ha con campo nullo. Oltre che naturalmente si vede sempre la colonna positiva come schiacciata contro la parete del ramo laterale, si osserva una luminosità

Digitized by Google

avente i caratteri di quella dei raggi magnetici, che riempie lo spazio esistente fra il gambo del catodo ed il cannello che lo circonda. Questa specie di raggi magnetici partenti dalla faccia posteriore del catodo, che fu osservata da altri, persistè anche colle più grandi intensità di campo da me raggiunte.

Nella fig. 75 sono disegnate, oltre alla curva della serie *A*, anche le curve corrispondenti alle serie *B*, *C*, *D*. Da esse si ricava quale influenza abbia sui fenomeni l'intensità della corrente di scarica. Si vede infatti, che al crescere della intensità della corrente aumentano i due valori critici del campo, cioè quello pel quale appaiono i raggi magnetici e quello pel quale spariscono più o meno bruscamente davanti al catodo; ma l'aumento del primo di questi due valori critici è maggiore dell'aumento del secondo, cosicchè l'intervallo che li separa diminuisce al crescere della intensità della corrente. Ne consegue che, se si fa uso d'una corrente troppo intensa, si arriva a non ottenere più abbastanza distinto il fenomeno dei raggi magnetici, per quanto si varî l'intensità del campo. Anzi, nel caso della corrente di 389.10^{-6} ho potuto osservare nettamente solo la comparsa dei raggi magnetici, ed è perciò che presso la curva corrispondente della fig. 75, come pure nella seconda colonna della serie *D*, non è tracciata la freccia diretta al basso. In realtà accadeva, che insieme ai raggi magnetici (e qualche volta anche prima, cioè con un minor valore del campo) si formava quella certa luce al didietro del catodo che, con correnti meno intense, compare solo al cessare dei raggi magnetici; e quando si seguitava ad aumentare l'intensità del campo, mentre questa luce persisteva, quella dei raggi magnetici gradatamente e

Digitized by Google

prontamente si affievoliva, senza che si potesse indicare con precisione per quale valore del campo essa scompariva.

Le curve fig. 76, costruite coi dati delle serie *B*, *E*, *F*, indicano l'andamento dei fenomeni a diverse pressioni

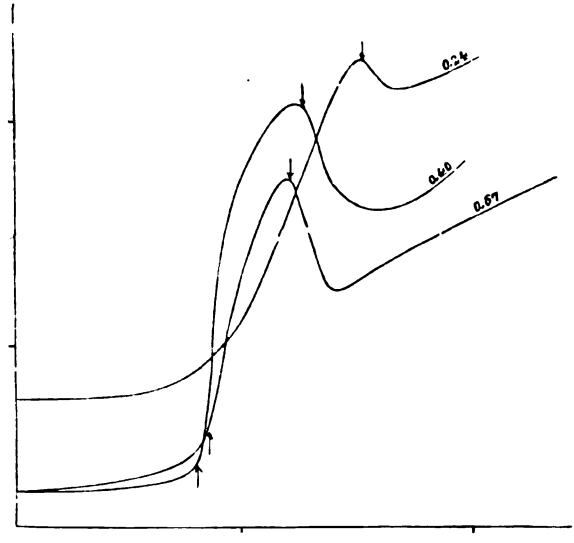

Figura 76.

e per una stessa intensità di corrente. Come si vede, un aumento di pressione fa avvicinare fra loro i due valori critici, come accade coll'aumentare l'intensità della corrente. Però, per pressioni basse, la comparsa dei raggi magnetici si effettua a bassi valori del campo, e generalmente non più in modo brusco, tanto che non si è potuto assegnare la posizione della freccia rivolta

Digitized by Google

all'insù nel caso della pressione 0,24. Ciò si verificò anche in esperienze anteriormente descritte [1].

È facile ora comprendere come, procedendo a caso,

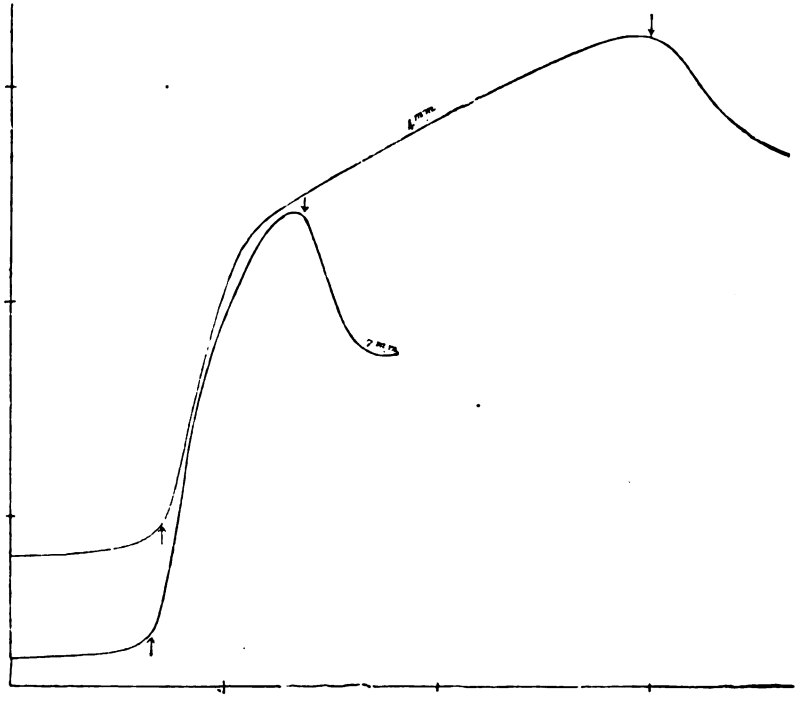

Figura 77.

possa accadere di non riescire a realizzare in modo soddisfacente il fenomeno dei raggi magnetici. In generale si ha maggior probabilità di ottenerli con pressione abbastanza bassa e con corrente debole; se non che

[1] *Mem. della R. Acc. di Bologna*, 17 gennaio 1909, pag. 95.

Digitized by Google

allora la intensità luminosa di essi è scarsa, e la loro estensione obbliga all'impiego di tubi di grandissima lunghezza.

Infine la fig. 77, che mette a confronto le curve costruite colle serie *A* e *G*, rende palese quanto sia vantaggioso il ridurre il diametro del dischetto di alluminio funzionante da catodo. Come si vede, se questo è di 4 anzichè di 7 millimetri di diametro, l'intervallo che separa i due valori critici del campo magnetico è considerevolmente maggiore.

Naturalmente, se le esperienze descritte venissero ripetute con un tubo di dimensioni differenti da quelle del tubo fig. 74, pur rimanendo invariato l'andamento generale dei fenomeni, si troverebbero certamente dei differenti valori critici del campo magnetico.

Digitized by Google

APPENDICE *F*

Sulla ionizzazione dell'aria entro un tubo di scarica posto nel campo magnetico [1].

1. L'aumento del potenziale di scarica (pag. 180), che accompagna il presentarsi dei raggi magnetici rende probabile una più intensa ionizzazione dell'aria entro

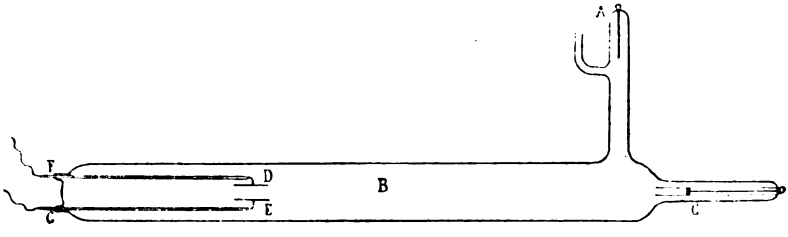

Figura 78.

il tubo di scarica. Mi sembrò necessario investigare se un tal fenomeno realmente si produce, perchè in caso affermativo esso è tale da complicare alcune delle esperienze precedentemente descritte, e in particolare quelle destinate a valutare le cariche elettriche trasportate dai raggi catodici o dai raggi positivi.

A questo intento ho dapprima sperimentato col tubo *B* rappresentato a circa $^1/_5$ del vero dalla fig. 78. Esso ha

[1] Da una Nota (*Rendiconti della R. Accademia di Bologna*, 16 gennaio 1910) pubblicata quando il volume era quasi interamente stampato.

Digitized by Google

la forma generale di quelli già ripetutamente adoperati, se non che, oltre al catodo *C* ed all'anodo *A* contiene due lastrine metalliche parallele *D*, *E* comunicanti coi capi d'un circuito comprendente un galvanometro ed una batteria di piccoli accumulatori. Il campo magnetico è prodotto nel solito modo, e cioè da un grande rocchetto, il cui asse coincide con quello del tubo *B*, di cui l'estremità *C* penetra alquanto entro il foro praticato nel nucleo di ferro del rocchetto stesso. Speciali strumenti servivano a misurare l'intensità della corrente di scarica e la differenza di potenziale fra gli elettrodi.

2. Il risultato generale avuto con questa disposizione è stato il seguente.

La deviazione galvanometrica, dalla cui grandezza si arguisce la maggiore o minore ionizzazione fra le lastrine, diviene più grande quando si eccita il rocchetto, e cresce ulteriormente se, manovrando un reostata, si aumenta sino ad un certo limite la corrente magnetizzante. Però l'aumento della deviazione, dapprincipio poco notevole, s'accentua più o meno bruscamente allorchè compaiono i raggi magnetici. Se poi le condizioni della esperienza (e segnatamente l'intensità della corrente di scarica) sono tali, che si giunga a far sparire nuovamente quei raggi aumentando l'intensità del campo magnetico, la deviazione galvanometrica nuovamente decresce. Si può dire quindi, che la ionizzazione entro il tubo varia effettivamente quando si crea il campo, ed anzi, che varia di pari passo col potenziale di scarica (vedi Appendice *E*).

Riporto nella seguente Tabella i risultati di alcune serie di misure, durante le quali le lastrine stavano a circa 20 c. dal catodo.

Digitized by Google

Campo mag.° in gauss	Corrente nel galvanometro in microampère					
	A	B	C	D	E	F
0	2,49	1,62	0,40	18,94	0,07	0,02
150	3,79	2,29	—	—	—	—
280	5,09	5,75	2.71	30,31	0.07	0,02
410	9,71	8,23	—	—	0,09	—
520	11,25	9,62	10,22	92,82	0.10	0,06
810	12,55	10,60	10,51	143,49	0,13	122,21
1000	12,31	10,39	9,47	159,59	2,89	133,20
1220	9,47	8,03	8.37	162,90	112,21	—
1300	7,10	6,81	—	147,74	—	—
1430	—	—	5,77	—	—	—
1500	—	—	—	41,20	—	—
1560	—	—	1,15	39,78	—	4,22

La prima colonna dà il campo magnetico misurato sull'asse del rocchetto a 15 mm. da esso; le altre danno la corrente misurata. Le varie serie differiscono sia per la pressione p (in mm. di mercurio) dell'aria entro il tubo di scarica, sia per l'intensità i (in milliampère) della corrente che lo percorre, sia infine pel numero n di accumulatori adoperati, a norma della seguente Tabella:

	A	B	C	D	E	F
p	0,3	0,3	0,21	0,21	0,38	0,38
i	0,34	0,34	0,04	0,40	0,45	0,04
n	20	1	20	20	20	20

3. È necessario mettere questi risultati in relazione con una esperienza, che finora sembrava esente da obie-

Digitized by Google

zioni, quella cioè secondo la quale la carica trasportata ad un conduttore dai raggi magnetici diminuisce al crescere dell'intensità del campo (pag. 146). Ciò che aveva reso difficile al Villard la constatazione di questo fatto era stata l'inevitabile ionizzazione dell'aria nel tubo di scarica, mentre in quella mia esperienza si teneva il debito conto di tale fenomeno. Ma tacitamente si ammetteva, che la conducibilità dell'aria non venisse modificata dal campo, mentre ora invece risulta che, per quanto spontanea, questa supposizione non corrisponde alla realtà.

Ne consegue che quella mia esperienza non è inconciliabile coll'usuale spiegazione dei fenomeni di Plücker e di Hittorf, e che occorrerà, prima di concludere definitivamente, giungere a valutare, qual parte del risultato spetti all'accresciuta ionizzazione [1].

4. Dopo ciò mi è sembrato indispensabile indagare, se una obiezione dello stesso genere si può fare all'esperienza (pag. 156) eseguita col tubo della fig. 18, dalla quale risulterebbe la formazione di raggi magnetici in un fascio di raggi canali.

A questo scopo ho adoperato il tubo della fig. 79 (scala di circa $^1/_5$), che differisce da quello della fig. 18 in ciò, che entro il cilindro di rete metallica BC connesso al catodo forato, trovansi, invece che un dischetto comunicante con un elettrometro, le due lastrine E, F,

[1] Il sig. Thirkill mi ha cortesemente comunicato il contenuto d'una sua *Nota*, che stava per dare alle stampe, colla quale è giunto a questa medesima conclusione. Egli opina, che anche di qualcun'altra delle mie esperienze si possa rendere conto colla semplice considerazione degli elettroni in movimento, ma egli non esamina tutte quelle che, a mio avviso, rendono inevitabile l'ipotesi dell'esistenza d'una nuova specie di raggi.

Digitized by Google

aventi lo stesso ufficio di quelle indicate colle lettere *D, E*, nella fig. 78.

Con tale apparecchio ho riconosciuto, che eccitando il campo la deviazione galvanometrica diminuisce notevolmente, anche se il campo stesso ha una intensità relativamente debole, e diminuisce ancora, ma più lentamente, se il campo viene ulteriormente aumentato.

In altri termini si ha un risultato opposto a quello dato dalle esperienze descritte nel § 2. Valga d'esempio la

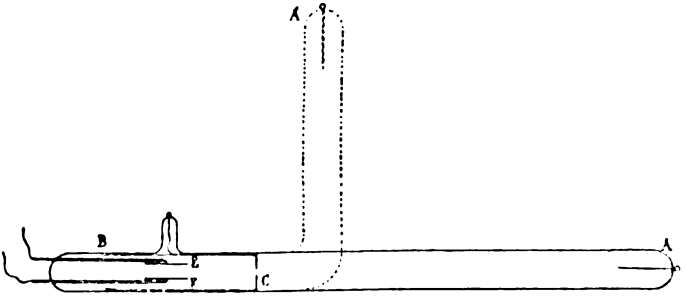

Figura 79.

seguente Tabella, che contiene i valori numerici ricavati con una serie di misure, durante la quale la pressione dell'aria nel tubo era di $^1/_{50}$ di mm., la corrente traversante il tubo aveva l'intensità di circa $^1/_8$ di milliampère, ed il numero d'accumulatori adoperati era quaranta.

Campo mag.° in gauss. . . .	0	280	520	810	1000	1220	1360	1495	1620
Corr.e nel galv.° in microampère	1,44	1,14	1,03	0,97	0,96	0,93	0,90	0,87	0,86

Questo risultato si può spiegare in due principali maniere: *a)* Si formano raggi magnetici, e cioè alcuni degli elettroni negativi presenti (per effetto di ionizzazioni

Digitized by Google

o per altra causa) nei raggi canali si uniscono ripetutamente per brevi istanti a ioni positivi, anzichè rimanere separati, e contribuire così in modo più efficace alla ionizzazione; *b)* Si formano in minor copia i raggi canali quando il campo magnetico agisce sul tubo.

La prima spiegazione è quella suggerita dall'ipotesi dei raggi magnetici, ma la seconda sembra assai verosimile in virtù della circostanza, che quando il campo magnetico è in azione si osserva una diminuzione del potenziale di scarica. Questo fenomeno sembra infatti dovere determinare una diminuzione della velocità delle particelle in moto, e infine una diminuzione della ionizzazione.

Era dunque interessante istituire nuove esperienze con un tubo di tal forma, che si verificasse invece un aumento del potenziale di scarica per effetto del campo, e perciò bastava che il tubo di scarica avesse, almeno in molta parte, una direzione trasversale.

5. Sono riescito nell'intento mediante un tubo di scarica, che differisce da quello rappresentato dalla fig. 79 in ciò che il tratto *CA* è piegato ad angolo retto in *CA'*, restando la piega a circa 4 c. dal catodo.

Tuttavia il risultato ottenuto è stato in sostanza quello stesso del tubo rettilineo, come appare chiaramente dalla seguente serie di misure:

Campo mag.° in gauss. . . .	0	280	520	810	1000	1220	1360	1495	1620
Corr.e nel galv.° in microampère	1,35	0,61	0,36	0,40	0,52	0,54	0.58	0,61	0,69

La spiegazione *b)* deve dunque escludersi, od almeno se, come è probabile, essa è esatta, non può considerarsi come sufficiente a spiegare da sola il fenomeno.

Digitized by Google

Risultati simili, anzi assai più marcati, ho ricavato da altre esperienze fatte col tubo rettilineo della fig. 79 collocato trasversalmente contro il polo del rocchetto, come appare dalle seguenti misure:

Campo mag.° in gauss. . . .	0	280	520	810	1000	1220	1360	1495	1620
Corr.e nel galv.° in microampère	3,05	0,64	0,25	0,21	0,19	0,18	0,16	0,14	0.12

6. La spiegazione *b)* si potrebbe però sostenere ancora supponendo che i raggi canali si formino in minore copia, in seguito forse a modificazioni del regime di scarica entro l'intero tubo. Di qui la minor ionizzazione osservata.

Ma, mentre si può notare, che in ogni caso resterebbe a dimostrare che tali modificazioni esistono, e sono di tal natura da produrre quell'effetto, la osservazione diretta dei raggi canali contraddice nettamente alla nuova spiegazione.

Infatti, il loro aspetto non subisce nessuna sensibile modificazione allorchè, eccitando un campo di debole intensità si constata una considerevole diminuzione della ionizzazione dell'aria fra le due lastrine. Accrescendo poi l'intensità del campo i raggi canali diminuiscono bensì di splendore, ma ciò accade precisamente mentre la diminuzione ulteriore della ionizzazione è assai piccola. In altre parole manca la corrispondenza fra ionizzazione dell'aria e luminosità dei raggi. Anche la luminosità nel resto del tubo di scarica non si modifica sensibilmente con campo abbastanza intenso per determinare la diminuzione della deviazione galvanometrica, salvo forse nel caso del tubo rettilineo collocato trasversalmente. In questo caso quindi sembra che effettivamente decresca

Digitized by Google

l' intensità dei raggi canali, ciò che può render conto della maggior variazione constatata nell' ultima esperienza.

Considerata dunque come generalmente esclusa una diminuzione dell' intensità dei raggi canali provocata dal campo, quando la sua intensità è tuttavia sufficiente per dar luogo ad una sensibile diminuzione della conducibilità dell' aria fra le due lastrine, questo fenomeno non può essere invocato per infirmare il risultato che diede il tubo della fig. 18. Perciò sembra potersi affermare, che mentre non può più considerarsi l'esperienza del tubo fig. 17 come non conciliabile colle vedute usuali, quella a cui serve il tubo della fig. 18 va ancora esente da obiezioni.

Digitized by Google

INDICE

Parte Prima — La materia radiante

Capitolo I. - Introduzione.

§ 1. Molecole, atomi, ioni, elettroni . . . . . Pag. 3
» 2. Moti molecolari, atomici ecc. . . . . » 10
» 3. Teoria elettrica della materia . . . . . » 14
» 4. Radioattività . . . . . » 18
» 5. Ionizzazione . . . . . » 21

Capitolo II. - Raggi di elettroni negativi.

§ 6. Natura e proprietà dei raggi catodici . . . . . Pag. 33
» 7. Visibilità dei raggi catodici . . . . . » 37
» 8. Raggi di Becquerel . . . . . » 43
» 9. Raggi secondari . . . . . » 45

Capitolo III. - Raggi di ioni positivi.

§ 10. I raggi positivi . . . . . Pag. 51
» 11. Carica e costituzione dei raggi-canali . . . . . » 54
» 12. Raggi positivi retrogradi . . . . . « 59
» 13. Raggi anodici . . . . . » 61
» 14. Raggi α . . . . . » 67

Digitized by Google

Capitolo IV. - **Possibile esistenza d'altre specie di materia radiante.**

§ 15. Raggi di elettroni positivi? . . . . . Pag. 73
» 16. Possibile esistenza di una nuova specie di materia radiante . . . . . » 78
» 17. Stabilità delle coppie giranti ione-elettrone . » 82

Parte Seconda — **I raggi magnetici**

Capitolo V. - **Le scariche nel campo magnetico.**

§ 18. Antiche esperienze . . . . . Pag. 97
» 19. Spiegazione dei fenomeni luminosi di Plücker e Hittorf . . . . . » 106
» 20. Esperienze recenti . . . . . » 114
» 21. Altri effetti prodotti sulle scariche del campo magnetico. . . . . » 123

Capitolo VI. - **Disposizioni sperimentali.**

§ 22. Piano generale delle esperienze . . . . . Pag. 129
» 23. Tubi di scarica . . . . . » 132
» 24. Elettrocalamite e pompe ad aria . . . . . » 135
» 25. Sorgenti elettriche e strumenti di misura per le scariche . . . . . » 138

Digitized by Google

Capitolo VII. - **Cariche trasportate dalla materia radiante in un campo magnetico.**

§ 26. Metodo adottato . . . . . Pag. 141
» 27. Risultati . . . . . » 146
» 28. Raggi positivi nel campo magnetico . . . . . » 154

Capitolo VIII. - **Raggi magnetici in campo non uniforme.**

§ 29. Caso dei tubi con elettrodi alle estremità . . Pag. 161
» 30. Tubi ad anodo laterale . . . . . » 172
» 31. Esperienze con deboli correnti . . . . . » 184
» 32. Luminosità sul prolungamento dei raggi magnetici . . . . . » 192
» 33. Effetti prodotti da un polo magnetico avvicinato al tubo . . . . . .
» 34. Interpretazione dei fenomeni descritti in questo capitolo . . . . . » 213

Capitolo IX. - **Produzione ed effetti dei raggi magnetici.**

§ 35. Trasformazione dei raggi positivi in raggi magnetici . . . . . Pag. 223
» 36. Fenomeni prodotti quando i raggi magnetici incontrano un solido. Ricostituzione di raggi magnetici distrutti . . . . . » 230
» 37. Raggi magnetici nei tubi a strozzatura. . . . » 242
» 38. Altri casi di produzione dei raggi magnetici. » 251
» 39. Effetti prodotti quando i raggi magnetici incontrano un corpo . . . . . » 259

Digitized by Google

CAPITOLO X. - **Riassunto e conclusioni.**

§ 40 . . . . . PAG. 275

APPENDICI

Appendice ***A*** - Sul moto di un elettrone intorno ad un ione nel campo magnetico . . . PAG. 283

» ***B*** - Sul moto d'un elettrone in un campo elettrico uniforme . . . . . » 305

» ***C*** - Moto d' un elettrone sotto l' azione d' un campo magnetico e di un campo elettrico, entrambi uniformi » 309

» ***D*** - Sull' *anodo virtuale* di un tubo di scarica nel campo magnetico . . . » 315

» ***E*** - Sui valori limiti del campo fra i quali si producono i raggi magnetici . . » 323

» ***F*** - Sulla ionizzazione dell'aria entro tubi di scarica posti nel campo magnetico » 333

Digitized by Google